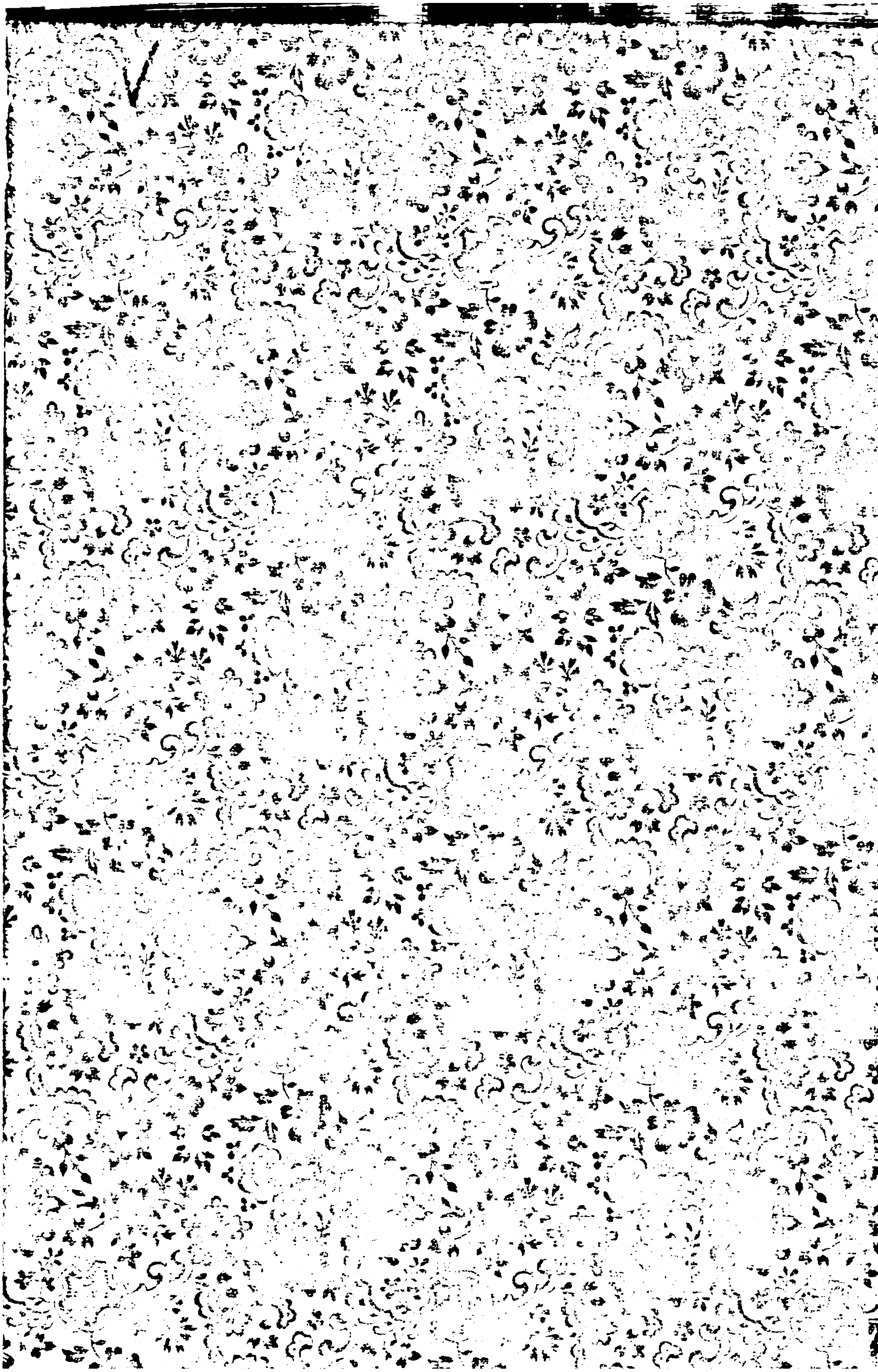


Bau und Betrieb
Elektrischer Bahnen.

Handbuch

zu deren

Projektierung, Bau und Betriebsführung

von

Max Schiemann

Civil-Ingenieur für elektrische Bahnen und Anlagen.

II. Band.

Haupt-, Neben-, Industrie-, Fernschnell- und gleislose Bahnen.

Mit 274 Abbildungen, Inhalts-, Namen- und Sachregister.

Zweite und dritte vermehrte Auflage.

LEIPZIG
VERLAG VON OSKAR LEINER.
1903.

Vorwort zur ersten Auflage.

Bei der Bearbeitung des I. Bandes meines Werkes hatte ich vornehmlich die Strassenbahnen (Kleinbahnen) in Behandlung genommen, weil sich aus diesen heraus der elektrische Eisenbahn-Betrieb grundlegend entwickelt hat. Während sich daher der I. Teil fast ausschliesslich mit den sowohl technisch als auch wirtschaftlich als abgeschlossen geltenden Strassenbahnen befassen konnte, ist der hier vorliegende II. Band denjenigen Bahnausführungen gewidmet, welche teils besondere, teils noch in der Zukunft liegende Gebiete des elektrischen Bahnbaues und Betriebes umfassen.

Die im Nachfolgenden registrierten, mit zahlreicher Litteratur belegten und viel versprechenden Anfänge, harren zum grössten Teil für ihre allgemeine Anwendung noch der durchschlagenden wirtschaftlichen Lösung. Die von der elektrischen Bahntechnik genommenen Anläufe lassen indess den gesunden Kern schon heute erkennen, sodass es mir zeitgemäss erschien, alles dasjenige zu sammeln, was für die Ausbildung des elektrischen Eisenbahn-Betriebes im grossen und ganzen zu wissen nötig ist.

Ich habe mich bemüht, da, wo die eigenen Anschauungen und Erfahrungen nicht mehr ausreichten, die Litteratur zu benutzen, und habe nach Möglichkeit kurze Auszüge unter Angabe der Litteraturquellen gebracht. Eine wesentliche Unterstützung fand ich bei den grossen Firmen durch Überlassung von Clichés und Erfahrungsresultaten.

Die im Text und als Fussnoten angegebenen Litteraturquellen dienen als Ergänzung meiner Auszüge, damit der Umfang des Werkes nicht allzu gross wurde. Nur wo es besonderer Kritiken bedurfte, habe ich dieselben beigefügt.

Dresden, im September 1899.

Max Schiemann,
Civil-Ingenieur für elektrische Bahnen
und Anlagen.

Vorwort zur zweiten und dritten Auflage.

Der zweijährige Zwischenraum zwischen der ersten Auflage und der neu erschienenen hat bereits manche Fragen im elektrischen Grosseisenbahnbetrieb durch Neu-Ausführungen, Versuche, Studien, Konstruktionen und Patente der Verwirklichung näher gebracht, und man darf getrost behaupten, dass technische Schwierigkeiten für unsere heutigen Eisenbahnverhältnisse nicht mehr vorliegen. Ehe aber hier weitere Fortschritte zu verzeichnen sein werden, wird die wirtschaftliche Lösung gesucht und gefunden werden müssen, und an dieser harten Arbeit müht sich die Gegenwart ab.

Neue Verhältnisse beabsichtigt die in Berlin gegründete Studien-Gesellschaft für elektrische Schnellbahnen zu schaffen, indem studiert und probiert werden soll, welche höchsten Geschwindigkeiten erreichbar sind, welche Wagenformen, welche Gleisanlagen, welche Bahnbauten, Signalanlagen, Stromarten und dergl. bauliche und betriebstechnische Anlagen und Gepflogenheiten die günstigsten für die Zukunft sein werden. Das Kapitel Schnell- und Fernbahnen enthält das Diesbezügliche.

Auch in anderer Richtung sind Neuerungen aufzuführen, denen durch die hier eingeschobenen Kapitel Rechnung getragen wird. Es betrifft dies Kanalschleppbahnen und gleislose Motorbahnen. Beide Systeme schliessen eine hohe wirtschaftliche und soziale Aufgabe in sich, für deren Ausbildung die nächsten Jahre vorbehalten bleiben.

Dresden, Dezember 1902.

Der Verfasser.

Inhalt.

I.

Wechselstrombahnen.

Die in den Kapiteln I bis VI des ersten Teiles meines Werkes über »Bau und Betrieb elektrischer Bahnen« behandelten Anlagen gründen sich auf die Ausnutzung des Gleichstromes für Bahnen. Es liegt indess nahe, auch den Wechselstrom als Einphasen- oder Mehrphasenstrom für Bahnanlagen zu benutzen und zwar besonders da, wo es sich um Überwindung grosser Entfernungen zwischen Krafterzeugungsstation und Kraftverbrauchsstellen handelt. Hier ist der Drehstrom berufen, die führende Rolle zu übernehmen, obgleich es nicht ausgeschlossen scheint, dass auch einphasiger Wechselstrom mehr und mehr für Traktionszwecke brauchbar wird.

Die Frage, ob man elektrische Bahnen mit Gleichstrom oder Drehstrom betreiben soll, behandelte F. Huber folgendermassen:

»An Stelle des allgemein angewendeten Gleichstromes wurde an mehreren Orten Drehstrom vorgeschlagen und in einigen Fällen auch angewendet. Schon der verstorbene Wenström hat um das Jahr 1890 ernstlich an die Anwendung von Drehstrom für Bahnzwecke gedacht.

Bei der Wahl des Systems und dessen Beurteilung muss unterschieden werden zwischen der Höhe der Anlagekosten, der Höhe der Betriebskosten, der Eignung des Systems für den vorliegenden Zweck und der Betriebssicherheit.

Eine Bahnanlage ist ohne weiteres mit einer Kraftverteilungsanlage zu vergleichen. Wo die Anwendung hoher Spannung eine Lebensbedingung für die Anlage ist, wird Drehstrom hinsichtlich der Anlagekosten rechnerisch immer den Vorzug erhalten. Die Spannung auf den Fahrzeugen ist begrenzt, sie liegt für die Mehrzahl der Fälle unbedingt unterhalb 1000 Volt, für die Mehrzahl der heutigen Fahrzeuge jedenfalls nicht höher als etwa 600 Volt. Wo daher gleichzeitig auch die Möglichkeit der Transformation durch ruhende Apparate eine Lebensbedingung für die Anlage ist, muss umsomehr Drehstrom den Vorzug vor Gleichstrom haben. Die folgende Zusammenstellung betrifft eine Linie von 20 *km* Länge, auf welcher Fahrzeuge verkehren, deren Motoren für eine Spannung von höchstens 600 Volt gebaut sind, also für eine Nebenbahn von mittlerer Länge, mit automobilen Fahrzeugen.

Vergleich der Anlagekosten einer Bahn von 20 *km* Länge für Gleich- und Drehstrom.

Energieverbrauch der Wagenmotoren in KW	20	20	20	20	20	total 100 KW
km	0	5	10	15	20	

Ein Zug, bestehend aus 1 Motorwagen, 1 bis 2 Anhängewagen, zusammen etwa 20 *t*. Steigung bis zu 50 ‰.

	Spannungsverhältnisse: minim.	maxim.
Spannung im Fahrdraht:		
Gleichstrom . .	500	600 V
Drehstrom . . .	500	600 V verkettet.

Fahrabstand 30 Minuten. Geschwindigkeit 20 bis 25 *km*.

System	Nutz-effekt	Centrale elektr. Teil Mk.	Kupfer-Fahr-draht u. Speise-leitung Mk.	Trans-forma-toren Mk.	Um-former-statio-nen Mk.	Fern-leitung Mk.	Totale Anlage-kosten Mk.	Verzins. u. Amor-tisation, Masch. 10 %, Kupf. 6 % Mk.	Bedien. Personal der Station. pro Jahr Mk.	Verzins. Amortis. u. Be-dienung pro Jahr Mk.
Centrale in der Mitte: Gleichstrom . . .	0,8	56000	36000	—	—	—	92000	7760	2880	10640
Drehstrom	0,8	56000	32800	19200	—	—	108000	9488	2880	12376
Centrale am Ende: Gleichstrom . . .	0,8	56000	144000	—	—	—	200000	14240	2880	17120
Drehstrom	0,8	56000	35200	19200	—	—	110400	9632	2880	12512
Centrale am Ende: Übertragung mit Drehstrom, Speisung mit Gleichstrom . . .	0,7	80000	22400	—	64000	8000	174400	16224	5760	21984
Centrale in 10 *km* Entfernung von Mitte Linie: Übertragung mit Drehstrom, Umformung in Gleichstrom, Umformerstation in der Mitte der Linie	0,7	56000	36000	—	80000	20000	192000	16880	5760	22640
Übertragung der Kraft und Speisung der Linie mit Drehstrom	0,75	56000	32800	19200	—	20000	128000	10696	4320	15016

In der Zusammenstellung sind nur diejenigen Kosten aufgenommen, welche je nach der Wahl des Systems und der Anordnung verschieden sind. Der Kostenbetrag der ganzen Anlage würde im Mittel etwa 1 200 000 Mk. betragen. Die Tabelle zeigt, dass, spezielle Gestaltung der Längsprofile ausgenommen, die Fälle für Drehstrom um so günstiger werden, je grösser die Entfernung und je grösser die Kräfte sind. Für Anlagen, wie städtische Bahnen, mit konzentriertem Kraftbedarf oder mit einem auf eine beschränkte Fläche gleichmässig verteilten Kraftbedarf kann dagegen Drehstrom im allgemeinen auch rechnerisch in den Anlagekosten keine Vorteile bieten. Bei sehr grosser Ausdehnung städtischer Netze wird man zu der Drehstrom-Gleichstrom-Transformation, wie bei der städtischen Strassenbahn in Zürich (ETZ 1900, Heft 8, Seite 151) und Moskau, oder zur Wechselstrom-Gleichstrom-Transformation, wie in Frankfurt a. M., Köln u. s. w. greifen müssen. Es muss anerkannt werden, dass die Oberleitungskonstruktionen für Drehstrom eine Gestalt annehmen würden, die für die Strassenverhältnisse in Städten nicht mehr zulässig sind. In den Fällen, wo in den Anlagekosten ein namhafter Unterschied nicht herauszurechnen ist, müssen betriebstechnische Rücksichten allein entscheiden, aber dieselben Rücksichten müssen auch da nicht vergessen werden, wo wegen zu hoher Anlagekosten Gleichstrom nicht ökonomisch erscheint und Drehstrom verwendet wird.

Es muss bei der Beurteilung der Eignung des Drehstromes für die Bahnanlage zwischen der Leitung und dem Rollmaterial unterschieden werden.

Von grossem Interesse ist vor allem der Vergleich zwischen dem Drehstrom- und dem Gleichstrommotor für Bahnzwecke. Von einem Motor für Fahrzeuge muss man unter Beachtung der bisher anerkannten Bedürfnisse eines Verkehrsmittels folgendes verlangen:

1. Ausübung grosser Anzugskraft beim Anfahren ohne störenden Stromkonsum.

2. Ausnützung der zugeführten und verfügbaren Energie im Interesse der Fahrgeschwindigkeit und Fähigkeit, die Geschwindigkeit auch über die fahrplanmässige hinaus zu steigern.

3. Höchster Nutzeffekt bei der während der längsten Zeit vorkommenden grössten Belastung (wichtigsten Belastung, nicht etwa der mittleren Belastung).

4. Fähigkeit vorübergehender aussergewöhnlicher Leistungssteigerung.

Es wird aber nicht unbedingt verlangt,

5. dass ein Fahrzeug alle Steigungen mit der gleichen Geschwindigkeit durchfahre.

Den Bedingungen 1, 2, 3 und 4 genügt der Gleichstrommotor mit Hauptstrom-Wickelung, besonders ein System von zwei Gleichstrommotoren, die auf dieselbe oder auf verschiedene Achsen des Fahrzeuges wirken, und zwar erfüllen solche Gleichstrommotoren diese Bedingungen in gewissem Sinne von selbst, d. h. infolge ihres Wirkungsprinzipes und ohne dass zu kraftverzehrenden Regulierapparaten gegriffen werden müsste. Gleichstrommotoren erfüllen aber nicht in diesem Sinne die Bedingung 5.

Der Drehstrommotor entspricht in ähnlich vollkommener Weise wie der Gleichstrommotor nur den Bedingungen 1, 3 und 4, nicht aber der Bedingung 2, dagegen aber erfüllt er die Bedingung 5 ohne Anwendung von irgend welcher Reguliereinrichtung.

Nur das Wichtigste hervorhebend, kann man sagen, dass der Gleichstrommotor das Bestreben hat, eine konstante Arbeit zu verrichten, während der Drehstrommotor das Bestreben hat, eine konstante Geschwindigkeit zu erhalten.

Aus alledem geht hervor, dass der Drehstrommotor sich den wirklichen Bedürfnissen des Eisenbahnbetriebes viel weniger anzupassen vermag, als der Gleichstrommotor und dass besonders die Eigenschaften, welche den Drehstrommotor für Zwecke des stationären Antriebes so ausserordentlich wertvoll machen, gerade beim Eisenbahnbetrieb ungünstig zur Geltung kommen. Das gilt in vollem Masse von allen denjenigen Bahnanlagen, welche ein Längenprofil von grosser Mannigfaltigkeit besitzen, dagegen tritt der Mangel der Anpassungsfähigkeit des Drehstrommotors überall da nicht nachteilig in Erscheinung, wo das Längenprofil ein einförmiges ist. Dies führt zu dem weiteren Schlusse, dass der Drehstrommotor, spezielle Fälle ausgenommen, sich eignen wird für Bahnanlagen von erheblicher Länge und gleichmässig bedeutender Steigung, dass aber in allen anderen Fällen, spezielle wiederum ausgenommen, der Drehstrom im allgemeinen nur rechnerisch hinsichtlich Anlagekosten und Amortisation Vorteile gegenüber dem Gleichstrom zeigen kann.«

Die Gleichstrom-Serienmotoren haben die Eigenschaft, dass sie ihre Geschwindigkeit jeweilen der Belastung entsprechend von selbst anpassen, ohne dass durch künstliche Regulierung Energie verloren geht, während die Drehstrommotoren ein für allemal eine konstante Geschwindigkeit besitzen. Letztere kann zwar durch Regulierung vermindert werden, zugleich wird es dann aber auch der Nutzeffekt, ferner eventuell auch durch Veränderung der Polzahl, wobei aber die notwendig werdenden zahlreichen Leitungen die Betriebssicherheit vermindern, sodass keine dieser beiden Regulierungen empfehlenswert ist.

Speziell bei einer Bergbahn, wo im grossen ganzen keine grossen Geschwindigkeitsänderungen verlangt werden, ist es kein

Nachteil, wenn auf den verschiedenen Steigungen mit konstanter Geschwindigkeit gefahren wird, und kann dies daher für den Drehstrom nicht als Nachteil angesehen werden.

Einfachere Konstruktion durch Wegfall der Kommutatoren bei den Drehstrommotoren ist ein Vorzug derselben gegenüber den Gleichstrommotoren.

Bezüglich der Leitungen, speziell der Fahrdrahtleitung, bietet der Gleichstrom insofern einen Vorteil, als durch das Vorhandensein nur zweier, gegenüber dreier Leitungen beim anderen System, in der Konstruktion etwelche Vereinfachung eintritt, ein Umstand, der besonders bei den Weichen in Betracht kommt. Da Einfachheit der Anordnung im allgemeinen eine der ersten Bedingungen für einen gesicherten Betrieb ist, so ist in diesem Punkt der Gleichstrom entschieden seinem Rivalen überlegen. Auch bietet bezüglich der in den Leitungen vorkommenden Spannungen der Gleichstrom insofern grössere Sicherheit, als keine eigentliche Hochspannung vorkommt, die einesteils eine mit peinlicher Sorgfalt ausgeführte Isolation erfordert, andernteils für Menschen absolut gefährlich ist.

Die elektrische Bremsung der Fahrzeuge ist bei beiden Systemen ausführbar.

Gleichstrom hat den Vorteil, dass die abwärts fahrenden Wagen von der Generatorstation und dem Zwischengliede der Leitungen vollständig unabhängig sind, eine Möglichkeit, die jedoch beim Drehstrom nicht ausgeschlossen ist, da durch Mitnahme einer kleinen Akkumulatorenbatterie zur Erregung der Felder die Motoren ebenfalls unabhängig von der Kraftstation als Generatoren arbeiten können.

Drehstrom hingegen bietet wiederum den grossen Vorteil der Unmöglichkeit der Beschleunigung der Fahrt bei der normalen Schaltung der Motoren gegen die Kraftstation, sei es mit oder ohne Belastungswiderstand, und ist man hierin ganz unabhängig von der Aufmerksamkeit des Führers, während beim Gleichstrom eine Regulierung durch Ein- und Ausschaltung von Widerstand durch den Führer stattfinden muss (was bei der Notschaltung der Drehstrommotoren mit Akkumulatorenerregung übrigens auch der Fall ist).

Im ganzen sind bei Drehstrom drei Arten von Bremsungen möglich und können die dazu notwendigen Schaltapparate leicht voneinander getrennt konstruiert werden, sodass man, wenigstens so lange der Motor selbst nicht defekt geworden, zwei voneinander ganz unabhängige Reserven hat.

Der Nutzeffekt der Drehstromübertragung ist höher, indem der zulässige Spannungsverlust innerhalb kleinerer Grenzen variiert und ein Teil desselben, durch die Impedanz hervorgerufen, keinen Energieverlust nach sich zieht.

Bei Gleichstrombahnen ist es üblich, die Fahrschiene zur Leitung des Stromes mit zu benutzen, um das Leitungsvermögen auszunutzen. Bei Wechselstrom stellen sich diesbezügliche Schwierigkeiten ein, weil der Widerstand eines eisernen Leiters sich hier anders verhält als dort.

Über den Widerstand eiserner Wechselstromleiter schreiben C. Feldmann und J. Herzog in der ETZ 1900, Heft 41, Seite 844:

»Bei Verwendung von Wechselstrom kann man annehmen, dass der Widerstand nicht mehr wie bei Gleichstrom 1,4 bis 1,3 der Hinleitung, sondern etwa das 1- bis $1^1/_2$fache der Hinleitung ausmacht, und dass der Effektverlust in den Schienen sich aus dem Spannungsverlust, dem Strom und dem cos. $\varphi = 0{,}8$ etwa ermitteln lässt.

Wenn nun auch diese Punkte nicht zu vernachlässigen sind, so dürfen sie doch auf der anderen Seite auch nicht überschätzt werden. Die Lösung des Problems der Fernbahnen wird voraussichtlich den Mehrphasenströmen in der einen oder anderen Form vorbehalten bleiben, und man wird dann eben durch geringen Mehraufwand an Leitungs-Kupfer, das sogar den Schienen parallel geschaltet werden kann, den zusätzlichen Spannungs- und Effektverlust vernachlässigbar machen können. Ausserdem aber wird man, der bereits vorhandenen Tendenz folgend, für solche Bahnen die Periodenzahl klein, etwa 15 bis 20, wählen, wofür auch der Umstand spricht, dass die Mehrphasenmotoren bei gleicher Tourenzahl geringere Polzahl erhalten und somit wesentlich günstiger werden. Durch diese Vorteile mag die Verteuerung der Primäranlage und der Transformatoren bei der geringen Periodenzahl in den meisten Fällen als kompensiert betrachtet werden.«

1. Einphasige Wechselstrombahnen.

Der Wechselstrom eignet sich seiner leichten Transformierung wegen sehr gut für Fernleitungen, jedoch sind einphasige Wechselstrommotoren zur Zeit noch nicht so weit entwickelt, dass man mit ihnen direkt Bahnwagen antreiben könnte. Im allgemeinen besitzt der Wechselstrommotor Zugkraft und Nutzeffekt in genügender Weise bei seiner normalen synchronen Geschwindigkeit; dagegen hat er nicht die Fähigkeit, beim Anziehen bezw. Anfahren der Wagen ohne Zuhilfenahme von Komplikationen die nötigen Zugkräfte auszuüben. Es sind daher die verschiedenartigsten Vorschläge gemacht worden, um den einphasigen Wechselstrom im Wagen selbst so umzuwandeln, dass er in den Motoren als Mehrphasenstrom zur Geltung kommt. Z. B. ist über diese Umwandlung des Einphasenstromes in Mehrphasenstrom von G. Ferraris und R. Arno eine sinnreiche

Konstruktion angegeben worden (vergl. ETZ 1896, Heft 23). Bekanntlich entsteht im Einphasenmotor bei synchronem Lauf seines Ankers durch die Rückwirkung der im Anker erzeugten Wechselströme auf das Wechselfeld ein resultierendes Drehfeld von konstanter Stärke wie in Mehrphasenmotoren. Dieses Feld ersetzt uns die rotierenden Magnetpole in einem Mehrphasengenerator und durch Anordnung der Wickelungen wie in diesem kann man sowohl Zwei- als auch Dreiphasenstrom erzeugen. Der feststehende Teil des Einphasenmotors ist gleichzeitig Feld für die Erzeugung des Drehfeldes und Armatur für die erzeugten Ströme mit gegen den das Feld erzeugenden Wechselstrom verschobener Phase. Der Spannungsabfall in den vom Drehfeld aus erzeugten Phasen ist aber enorm, wegen des geringen magnetischen Widerstandes des Systems, und hierin ist neben der grossen Komplikation, die die Notwendigkeit eines leerlaufenden Wechselstrommotors als »Phasentransformator« mit sich bringt, ein Hauptübelstand dieser Erfindung zu suchen.

Nach dem angegebenen Prinzip ist der in Fig. 1 dargestellte Wagen geschaltet. F ist der Fahrdraht und S die Schienenleitung. Zwischen diese Leitungen ist die Feldspule s_1 des Phasentransformators T eingeschaltet. Ebenso sind die Spulen M der beiden Motoren geschaltet. In der Figur sind der Einfachheit wegen zweipolige Motoren und ein zweipoliger Phasentransformator angenommen. Die zweite Phase der Motoren ist durch die Drähte C und D mit der Spule s_2 des Phasentransformators verbunden. Rotiert der Kurzschlussanker K des Phasentransformators T synchron, so entstehen in den Spulen s_1 und s_2 elektromotorische Kräfte, deren Phasen um $^1/_4$ Periode gegeneinander verschoben sind, die Motoren M erhalten also Zweiphasenstrom. Zur Kompensation des Spannungsabfalles muss s_2 mehr Windungen erhalten als s_1. Zur Regulierung der Zugkraft und Fahrgeschwindigkeit dienen die in die Anker H der Drehstrommotoren eingeschalteten Widerstände R. Sie sind, um die Skizze nicht zu komplizieren, einphasig gezeichnet, in Wirklichkeit wären sie natürlich dreiphasig auszuführen.

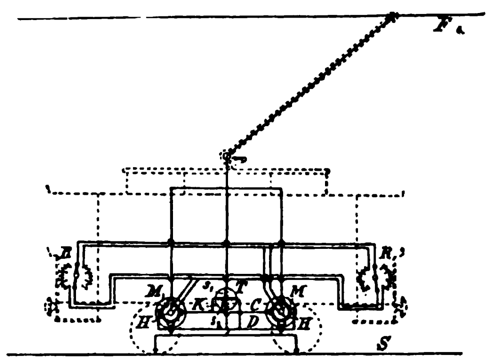


Fig. 1.

Die Anlassvorrichtung für den als Phasentransformator dienenden Wechselstrommotor T ist in der Skizze weggelassen.

Für Bahnen wird das beschriebene System wohl kaum Verwendung finden, und es ist hier nur der Originalität wegen angeführt worden. Hingegen kann die Methode der Herren Ferraris und Arno in gewissen Fällen nützlich verwertet werden, wenn es sich um den Anschluss mehrerer Motoren, die mit Zugkraft anlaufen sollen, an eine bestehende Wechselstromcentrale handelt. In Zürich ist eine kleine Anlage nach diesem Prinzip von der Maschinenfabrik Oerlikon zum Betrieb von Webstühlen mit Drehstrommotoren von $^1/_8$ bis $^1/_2$ PS mit Erfolg ausgeführt worden.

Ein weiterer Vorschlag, einphasigen Wechselstrom für den Antrieb einer Bahn zu verwenden, ist von Siemens & Halske (vergl. ETZ 1897, Heft 35, Seite 544) und, unabhängig von diesen, von Déri[1]) (vergl. ETZ 1897, Heft 33, und »Elektrizität« 1897, Heft 16) ein Wechselstrom-Gleichstrom-Bahnsystem angegeben, welches darauf hinausläuft, in jedem Bahnwagen mindestens einen Wechselstrommotor oder mindestens einen Gleichstrommotor und eine Akkumulatorenbatterie mitzuführen. Der Gleichstrommotor, im Verein mit der Akkumulatorenbatterie, soll dazu dienen, beim Anfahren in Thätigkeit zu treten und den Wechselstrommotor derart zu unterstützen, dass er allmählich in seine Phase treten kann. Erst bei einer be-

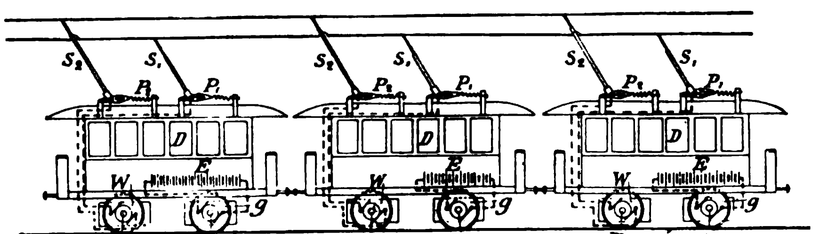


Fig. 2.

stimmten Geschwindigkeit des Zuges kann der einphasige Wechselstrommotor zur Wirkung gelangen. Derselbe erhält den Wechselstrom direkt durch S_1 und S_2 zugeführt, wie dies in beistehender Fig. 2 schematisch gezeigt ist. Während der Fahrt wird naturgemäss der Gleichstrommotor G mitbewegt, und dieser ladet die Akkumulatorenbatterie E, welche jederzeit bereit ist, bei starken Beanspruchungen dem Wechselstrommotor helfend beizustehen. Auf den Achsen m sind Wechselstrommotoren, auf n Gleichstrommaschinen befestigt. Die Verhältnisse der Akkumulatorenbatterie sind so bemessen, dass sie mit denen der Gleichstrommaschine harmonieren.

[1]) Die diesbezüglichen deutschen Patente sind im Besitz der Firma Helios D. R. P. 119255 v. 23./III. 97.

Befindet sich nun der Zug in seiner normalen Geschwindigkeit, so werden die Gleichstrommotoren eine elektromotorische Kraft entwickeln, welche sie befähigt, die Akkumulatoren zu laden; fällt die Geschwindigkeit des Zuges anderseits auf eine gewisse Grenze herab, so werden die Akkumulatoren Strom an die Gleichstrommotoren abgeben, sodass dieselben befähigt werden, eine Zugkraft zu entwickeln, welche zur Fortbewegung des Zuges beitragen kann. In solchen Fällen können die Gleichstrommotoren, welche im allgemeinen als Nebenschlussmotoren gedacht sind, entweder den Zug ganz allein vorwärts bewegen oder sie können auch mit den Wechselstrommotoren diesbezüglich zusammenwirken. Hauptsächlich wird die Thätigkeit der von den Akkumulatoren gespeisten Gleichstrommotoren, wie bereits erwähnt, beim Anziehen des Zuges in

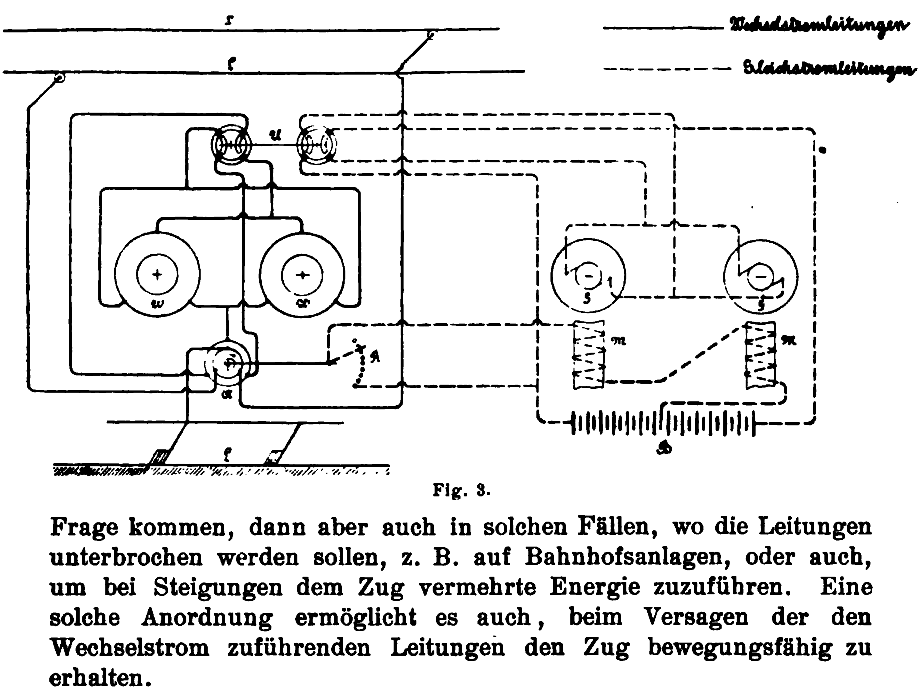


Fig. 3.

Frage kommen, dann aber auch in solchen Fällen, wo die Leitungen unterbrochen werden sollen, z. B. auf Bahnhofsanlagen, oder auch, um bei Steigungen dem Zug vermehrte Energie zuzuführen. Eine solche Anordnung ermöglicht es auch, beim Versagen der den Wechselstrom zuführenden Leitungen den Zug bewegungsfähig zu erhalten.

Fig. 3 zeigt die innere Wagenschaltung nach den Déri'schen Vorschlägen, wobei die Wechselstrommotoren als Drehstrommotoren vorgesehen sind. Das ganze System ist natürlich auf den Fernverkehr zugeschnitten.

Neben der nicht zu verleugnenden Kompliziertheit dieses Systems ist als ein grosser Übelstand zu bezeichnen, dass das bei elektrischen Bahnen so sehr vereinfachte Signalisierungs- bezw. Warnungssystem

wieder auf den alten Standpunkt der Dampfbahnen zurückkehrt. Man sollte es als einen Vorteil betrachten, elektrische Fernbahnen durchgehends mit direkter Stromzuführung zu versehen, da alsdann der Streckenbeamte bezw. Stationsvorsteher jederzeit in der Lage ist, auch ohne optische oder akustische Signale den Zug zum Stehen zu bringen. Durch Abschaltung des Betriebsstromes von der befahrenen Strecke kann er den Motoren die treibende Kraft entziehen, durch Kurzschluss der Stromzuleitung kann er die Wagenmotoren als Bremsen wirken lassen und die Akkumulatorenbatterien im Wagen durch Schmelzen von Wagen-Bleisicherungen oder Ausspringen von Wagenautomaten im Batteriestromkreis in ihrer Stromgebung unterbrechen. Bei dem genannten System ist dies an den Stellen, die direkte Stromzuführung zu den Wechselstrommotoren besitzen, unmöglich, weil folgerichtig der Gleichstromkreis (Akkumulatoren, Gleichstrommotor) in Thätigkeit treten muss, sobald ohne Willen des Wagen- bezw. Zugführers die Wechselstrommotoren zu arbeiten aufhören und weil der Gleichstromkreis keine Verbindung mit der Fahrleitung besitzt. Im übrigen stellt sich das System als eine Beschönigung der Schwächen des reinen Wechselstrommotors dar. Ein für Eisenbahnzwecke geeignetes System kann nur dann fruchtbringend sein und die Möglichkeit seiner Einführung in sich schliessen, wenn es die denkbar einfachsten Konstruktionen und Schaltungen aufweist. Direkte Zuleitung für die Fernbahnen ist zudem nicht so schwer ausführbar, selbst wenn sie dreipolig sein muss. Selbstverständlich muss es unterbleiben, den Strom von über den Gleisen befindlichen Fahrdrähten abzunehmen, vielmehr müssen die Fahrdrähte neben dem Lichtraumprofil montiert werden, oder es muss sich die Stromabgabeschiene im Gleisniveau befinden und, was die Hauptsache dabei ist, nur immer für kurze Strecken ein- und ausschaltbar gemacht werden können. Dieses Ein- und Ausschalten kann sowohl selbstthätig als auch von Hand der Bahnwärter und Stationsbeamten erfolgen. Für das selbstthätige Einschalten sind genügend Teilleiter-Konstruktionen angegeben worden und harren der Anwendung, die sich bei Bahnen mit eigenem Bahnkörper besonders günstig gestalten würde. Bei einer Stromzuführung im Gleisniveau machen die drei Zuleitungen und die entsprechenden Stromzuführungen keine Schwierigkeiten. Verlegt man nämlich innerhalb der Gleisspur noch zwei isolierte eiserne Stromleiterschienen, auf denen ein zweipoliger Kontaktwagen läuft, so hat man drei Leitungen (Laufschienen und zwei Kontaktschienen) zur Verfügung, die an sicherer Kontaktgebung nichts zu wünschen übrig lassen. Um die durch eiserne Leitungen erfolgenden Phasenverschiebungen zu vermeiden, dienen diese eben nur zur Stromabgabe und sind

öfters mit besonderen Kupferleitungen verbunden. Weichen und Kreuzungen können stromlos überfahren werden, da die Anordnungen so sein können, dass die Länge des Wagens das stromlose Stück überragt. Beim unterirdischen Stromzuführungssystem ist ein ähnlicher Fall überwunden worden.

Siemens & Halske, Aktien-Gesellschaft, hat neuerdings eine weitere Stromleitungseinrichtung für elektrische Bahnen mit Wechselstrombetrieb zum Patent angemeldet.

Die Erfindung verfolgt den Zweck, die Leitungsanlage elektrischer Bahnen mit Wechselstrombetrieb zu vereinfachen, was besonders in Weichen und Kreuzungen von Wichtigkeit ist.

An denjenigen Stellen der Bahnstrecke, wo eine kleine Leistung verlangt wird, also in ebener normaler Strecke, werden zwei Kontaktleitungen vorgesehen, welche mit einphasigem Wechselstrom aus der Kraftstätte gespeist werden. Da, wo eine grosse Leistung verlangt wird, also an den Anfahrstellen und auf Steigungen, werden drei Kontaktleitungen vorgesehen, welche mit Mehrphasenstrom entweder aus der Kraftstätte oder aus einem auf der Strecke aufgestellten Einphasen-Mehrphasen-Umformer gespeist werden. Die Fahrschiene kann natürlich in beiden Fällen zur Leitung mitbenutzt werden.

Um auf einfachere Art die Vorteile des Wechselstromes für Bahnzwecke auszunutzen, so lange wenigstens, bis sich der Wechselstrommotor als selbständiger Bahnmotor bewährt haben wird, sind für die Transformierung des hochgespannten Wechselstromes in 500 voltigen Gleichstrom stationäre Rotationsumformer in Anwendung gekommen. Dieselben bestehen z. B. aus asynchronen Wechselstrommotoren, welche je mit einer entsprechenden Gleichstromdynamo womöglich direkt gekuppelt sind. Bei synchronen Motoren sind zum mindesten grosse Schwungräder zwischen Motor und Dynamo zu schalten, damit der Synchronismus bei den auftretenden Schwankungen des Stromverbrauches nicht beeinträchtigt werden kann. Zur Bedienung eines derartigen Umwandlers ist nur eine Person erforderlich, welche noch mit irgend einer Nebenbeschäftigung betraut werden kann.

Der Drehstrom als Kraftübertragung von einer grossen Centralstation nach kleineren Bahnunterstationen wurde zum ersten Male in Amerika in Norwich, Conn., von der General Electric Company angewandt.

In Taftville wird der Drehstrom erzeugt und nach dem 6,5 *km* entfernten Ponemah übergeführt, woselbst mittels eines synchronen Motors eine für den Bahnbetrieb aufgestellte Dynamo angetrieben wird. Desgleichen wird in Folsom, Cal., Dreiphasenstrom von 11000 Volt Spannung erzeugt und auf eine Entfernung von 38,6 *km*

nach Sacramento übertragen, um hier mittels Rotationstransformatoren (Drehstrommotor-Gleichstrom-Dynamo) auf die Bahnbetriebsspannung von 500 Volt umgewandelt zu werden. Diese Anlage funktioniert seit ihrer Eröffnung gut.

Zwischen Detroit und Port Huron ist eine 95 *km* lange Bahn gebaut worden, bei welcher die Kraftübertragung durch Drehstrom mit Umformern auf Gleichstrom in vier Motorstationen erfolgt. Die Kraftstation ist in Mc. Sweeny's Pleasure Ground errichtet und mit vier 800 Kilowatt-Dampfdynamos ausgerüstet. Der Wagenpark wird aus 15 Motorwagen und 15 Anhängewagen bestehen. Die Motorwagen sind 14 *m* lang und wiegen 33500 *kg*. Sie erhalten Motorenausrüstung für 200 bis 300 PS, sodass eine Fahrgeschwindigkeit von 95 *km* in der Stunde möglich ist. Die normale Fahrgeschwindigkeit soll 70 *km* in der Stunde betragen.

Schliesslich ist in Lowell, Massachusetts, eine ähnliche, noch etwas einfachere Anlage betreffs der Transformierung eingeführt und als bewährt gefunden worden.

Zwischen den drei amerikanischen Städten Lewiston, Brunswick und Bath ist eine Bahnanlage mit Gleichstrom-Drehstrom-Gleichstrom-Betrieb neuerdings in Betrieb gekommen, über welche ETZ 1899, Heft 13, Seite 231, näheres berichtet.

Bei uns in Deutschland befinden sich die Hannover'schen Aussenstrecken mit Drehstrom-Gleichstrom-Unterstationen am längsten in Betrieb. Die Londoner Untergrundbahn, welche in Kap. III näher beschrieben ist, hat ebenfalls gleiches System aufzuweisen.

Ein weiteres Verfahren, hochgespannten Wechselstrom in 500 Volt Gleichstrom zu verwandeln, ist durch den Pollak'schen Umwandler angedeutet. Hier wird zunächst durch einen gewöhnlichen Wechselstromtransformator der Fernstrom auf 500 Volt Wechselstrom gebracht. Alsdann wird der Wechselstrom mittels eines gewöhnlichen rotierenden Kommutators, der wiederum durch einen synchronen Motor bewegt wird, zum Gleichstrom derselben Spannung gewendet.

Derartige Anlagen sind in Bielitz-Biala und Rom in Anwendung. Bei ersterer Anlage arbeitet der Gleichrichter parallel mit einer Akkumulatorenbatterie, in letzterer steht derselbe als Reserve für eine Gleichstrom-Dynamomaschine, welche neben der städtischen Wechselstrom-Beleuchtungs-Centrale für die kleine Bahn aufgestellt wurde, bereit. Ein prinzipieller Nachteil dieses Verfahrens liegt in der Unmöglichkeit, einen kontinuierlichen Strom zu erhalten, da die Strom- und Spannungsschwankungen des Wechselstromes bezw. Drehstromes unverändert bleiben, sich vielmehr nur auf die eine Seite der Nullachse legen. Die Erdströme machen die gleichen

Schwankungen mit und ziehen damit die Störungsbereiche in Mitleidenschaft.

Man rechnet unter gewöhnlichen Verhältnissen mit 70—75% Nutzeffekt bei Akkumulatoren und muss bei dem Pollak'schen Verfahren mit einem wesentlich geringeren Effekt zufrieden sein, weil nur ein Teil der erzeugten Energie für das Laden der Akkumulatoren ausgenutzt werden kann.

Prof. Grätz hat auf dem Verbandstage der Deutschen Elektrochemischen Gesellschaft in München 1897 einen eingehenden Vortrag über ein elektrochemisches Verfahren, Wechselstrom in Gleichstrom zu verwandeln, gehalten. In der Zeitschrift für Elektrochemie 1897, Heft 2, Seite 67 ff., ist das Verfahren näher beschrieben, welches darauf hinausläuft, den Wechselstrom durch Elektrolyte zu senden, die nur immer die eine Stromrichtung durchlassen, sodass die gleichgerichteten Stromwellen sich zu einem kontinuierlichen Strom vereinigen. Mehrphasiger Wechselstrom gleicht einem kurz pulsierenden Gleichstrom mehr, als auf diese Weise gleichgerichteter einphasiger Wechselstrom. Ein ähnliches Verfahren, wie das von Grätz angegebene, hat Pollak in Frankfurt a. M., unabhängig von diesem, bearbeitet und ebenfalls gute Resultate damit erzielt, sodass angenommen werden kann, es werden sich bei Umwandlung von Wechselstrom in Gleichstrom technische Verfahren herausbilden, die für die Praxis brauchbar und wirtschaftlich sind.

Die vierte Möglichkeit, Gleichstrom für die Bahn zu erhalten, bietet der Déri'sche Wechselstrom-Gleichstrom-Umformer, welcher den vorerwähnten Übelstand vermeidet und einen kontinuierlichen Gleichstrom von konstanter Stärke liefert. Der Form nach ist dieser Umformer eine Nebenschluss-Dynamo, bei welcher auf der Achse ausser dem Kollektor noch zwei Schleifringe angebracht sind, die mit entsprechenden Stellen der Wicklung verbunden sind.

Zur direkten Umwandlung eines zwei- oder dreiphasigen Wechselstromes in Gleichstrom beliebiger Spannung wird nach dem System von Hutin & Le Blanc von der Société anonyme pour la transmission de la force par l'électricité in Paris ein Apparat gebaut, der sich vorläufig noch nicht auf einfachen Wechselstrom anwenden lässt. Der Apparat stellt eine Kombination des Pollakschen Stromwenders und des Déri'schen Apparates dar, soweit sich dies aus den spärlichen Veröffentlichungen ersehen lässt.

Man ersieht hieraus, dass man allenthalben bestrebt ist, einen einfachen Umwandler von Wechsel- und Gleichstrom zu erreichen, um die guten Eigenschaften beider Stromarten von Fall zu Fall ausnutzen zu können.

Die Vorteile des Systems, mittels kleiner Unterstationen ein ausgedehntes Bahnnetz zu betreiben, liegen ausser in dem Nutzen der Centralisierung des Betriebes noch in der Verminderung von Erdstromerscheinungen, welche gerade bei ausgedehnten Bahnnetzen und bei beträchtlicher Länge der Bahnen, sowie bei entfernten Bahnendpunkten ganz besonders in die Erscheinung treten.

In Städten, deren diametrale Vororte durch die Stadt hindurch durch elektrische Bahnen mit Schienenleitung verbunden sind und deren Krafterzeugung, wie üblich, von einem der angeschlossenen Vororte aus erfolgt, können die Potentiale der Erdströme am äussersten Bahnende eine Höhe erreichen, welche auf den ganzen städtischen Telephonbetrieb, der nicht Schleifenleitungen besitzt, störend einwirken kann, indem die durch Erdplatten im Erdstrombereich angeschlossenen Telephone einen Nebenschluss des Betriebsstromes erhalten, welcher dem Potentialgefälle der Erdströme entspricht.

Ein Gleiches gilt von Gegenden, in denen Bergbau getrieben wird. Die Orientierung des Bergmannes erfolgt bekanntlich durch Magnetnadel-Apparate, ähnlich dem Kompass auf dem Schiffe. Es ist bereits konstatiert worden, dass z. B. im westfälischen Bergwerkreviere Abweichungen der Magnetnadel stattgefunden haben.

Man kann das Vorstehende dahin zusammenfassen, dass die Anwendung von hochgespanntem Wechselstrom zur Bethätigung kleiner Unterstationen mit technischem und wirtschaftlichem Erfolge da anwendbar ist, wo ein strahlenförmiges Bahnnetz mit weiten Ausläufern vorhanden ist. In solchen Fällen jedoch, wo die Bahn mit grossen Verkehrscentren auch ausserhalb des Hauptcentrums arbeitet, wird man die Stromtransformierung besser fortlassen und selbstständige Gleichstromstationen errichten.

2. Mehrphasenstrom-Bahnen.

Eine weitere Type von Wechselstrombahnen ist diejenige, bei welcher Drehstrom in der Kraftstation erzeugt, Drehstrom fortgeleitet und Drehstrom im Wagenmotor verbraucht wird. Ausser dem Nachteile des Drehstromes, drei Zuleitungen zu besitzen, ist daran zu erinnern, dass die Geschwindigkeitsregulierung des Drehstrommotors einige Schwierigkeiten bietet. Jeder Drehstrommotor besitzt nur eine wirksame Geschwindigkeit, und es können, unter Beachtung guter Nutzeffekte, Variationen der Geschwindigkeit nicht vorgenommen werden. Man hat bei den Drehstrombahnen mit mehr oder weniger gutem Erfolg diesem Übelstande begegnet, worauf in den nachfolgenden Beschreibungen der ausgeführten Bahnen zurückgekommen

wird. Befindet sich ein Drehstromwagen in der ihm vorgeschriebenen Geschwindigkeit, so tritt ein ähnlicher Fall ein, wie bei den Kabelbahnen, bei welchen ebenfalls nur eine Geschwindigkeit herrscht, und zwar die des Kabels. Die Zwischenstufen der Geschwindigkeit beim Anlauf werden durch Gleiten der Seilklemme erreicht, wobei natürlich von einem momentanen Nutzeffekt in wirtschaftlicher Beziehung keine Rede sein kann. Ausserdem wird durch dieses Gleiten das Kabel stark abgenutzt.

Was das wirkungslose Anlaufen des Drehstrommotors betrifft, so ist zu bedenken, dass mit demselben nicht die nachteiligen Wirkungen wie beim Kabelsystem verbunden sind. Der Wirkungsgrad ist beim Drehstrommotor erheblich höher als beim Kabelsystem und selbst auch höher als beim Gleichstromsystem, obgleich der Anlauf sehr hohe Stromstärken erfordert. Die ökonomische Übertragung, die Entbehrlichkeit des Kommutators und der Bürsten, und die einfache und dauerhafte Konstruktion des Drehstrommotors werden bei den Betriebskosten ihren Wert erweisen, sodass daneben die mangelhafte Geschwindigkeitsregulierung ihre Bedeutung verliert. Durch Änderung der Polzahl ist man erst neuerdings auf eine günstigere Geschwindigkeitsabstufung gekommen.

Auch gegenüber den Erdstromerscheinungen zeigt der Drehstrom über den Gleichstrom dann seine Überlegenheit, wenn man z. B. eine Periodenzahl wählt, die unter der für das menschliche Ohr hörbaren Schwingungsgrenze liegt.

Der Transformatoren- und Motorenbau kann mit sehr geringer Periodenzahl rechnen, und hat sich die Zahl 30 als am günstigsten herausgestellt, vor allem, weil bei dieser Schwingungszahl noch eine gute Beleuchtung durch Glühlampen möglich ist.

In elektrolytischer Beziehung ist der Wechselstrom bekanntlich wirkungslos, gleichgiltig mit welcher Wechselzahl und Stärke er den Erdboden durchzieht.

Die doppelte oberirdische Fahrleitung zeigt, bis auf den doppelt verlegten Fahrdraht, genau dieselbe Anordnung wie bei den Gleichstrombahnen mit Oberleitung. Mastenausleger, Spanndraht und Verankerung bleiben dieselben und sind höchstens nur um einiges zu verstärken, wenn man die gleichen Fahrdrahtquerschnitte verwenden will. Gewöhnlich macht sich dies nicht nötig, da die Speisepunkte für die Fahrdrahtleitung häufiger gemacht werden können, als bei Gleichstrom. Der Grund hierfür liegt in der Hochspannungsfernleitung und in der leichten Transformierung durch stillstehende Transformatoren. In Anbetracht dieses Umstandes kommt man mit dünneren Kupferquerschnitten aus, wenn man nur die elektrischen Verhältnisse in Betracht zieht. Mit Rücksicht auf

die mechanische Konstruktion empfiehlt es sich jedoch, die Fahrdrähte nicht unter 7 *mm* Durchmesser zu nehmen.

Kreuzungen anderspoliger Fahrdrähte können so befahren werden, dass nur eine Phase des Dreiphasenstromes den Wagen über die Kreuzungsstelle hinwegbringt, wobei der Drehstrommotor als einphasiger Wechselstrommotor weiter läuft, und die lebendige Kraft des Wagens ein Aussertrittfallen des Motors verhindert, weil der in Bewegung befindliche Wagen ein vorzügliches Schwungrad darstellt. Diese Eigenschaft gestattet, die Kreuzungen der Fahrdrähte möglichst einfach zu konstruieren.

Die Eigentümlichkeit des Drehstrommotors, auch mit einer Phase weiter zu laufen, besitzt noch den weiteren Vorteil, dass beim Entgleisen eines Wagenkontaktes Funken an den Kontaktstellen niemals auftreten können, zumal die Funkenbildung bei Wechselstrom überhaupt geringer ist als bei Gleichstrom.

Da ferner der Drehstrom durch zwei isolierte Fahrdrähte und durch die Fahrschienen zugeleitet wird, ist die Selbstinduktion der Fahrschiene eine andere, als die der Kupferleitung, und es haben sich darin einige Schwächen der Zuleitung gezeigt, welche jedoch nicht zum Verwerfen des Systems geführt haben. Vielmehr hat man die Verluste, die auf die Wagenzuleitung zurückzuführen sind, wieder wettmachen können durch die geringeren Verluste in der Fernleitung. Bei der Schienenleitung muss auf Mitleitung der Erde gerechnet werden. Bei schlechter Erdleitung macht sich die Legung eines Kabels nötig, sodass die Fahrschiene immer nur als Stromüberleiter zwischen Kabel und Wagen angesehen werden sollte.

Die erste reine Drehstrombahn war die im Dezember des Jahres 1895 eröffnete Strassenbahn in Lugano (Italien), welche von der Firma Brown, Boveri & Co. in Baden (Schweiz) erbaut wurde.

Die Beurteilung, welche diese zunächst als Versuchsbahn ausgeführte Anlage nach ihrem Bekanntwerden in Fachkreisen erfuhr, war eine sehr geteilte, anfänglich eine fast durchweg abfällige. Sie stützte sich vielfach auf die Ansicht, dass Drehstrommotoren ihrer Natur nach für Bahnbetrieb ungeeignet seien, und dass daher die Ersetzung des Gleichstromes durch mehrphasigen Wechselstrom technisch geradezu einen Rückschritt bedeute, welcher sich durch keine indirekten Vorteile rechtfertigen lasse. Der gelungene Versuch überzeugte indess, dass die Drehstrommotorwagen thatsächlich den Erwartungen entsprechen, die die projektierende Firma auf sie gesetzt hatte. Ein Umschwung in den Anschauungen trat in dem Sinne ein, dass der dortigen Versuchsanlage nicht nur der Charakter eines interessanten Experimentes, sondern derjenige einer Neuerung von nicht zu unterschätzender praktischer Bedeutung zukam.

Die zum Betriebe der Bahn erforderliche Energie wird von dem Wasser- und Elektrizitätswerk in Maroggia geliefert. Die Installation in der Primärstation besteht zur Zeit aus einer mit 230 *m* Gefälle arbeitenden Bell'schen Turbine von 300 PS; die horizontale Welle derselben ist zur beiderseitigen Kuppelung mit je einem 150 PS Brown'schen Drehstromgenerator eingerichtet.

Diese Generatoren geben bei 600 Umdrehungen und 2400 Perioden (d. i. 40 in der Sekunde) 5500 Volt Polspannung und haben die aus Fig. 4 ersichtliche wechselständige Versetzung der acht Pol-

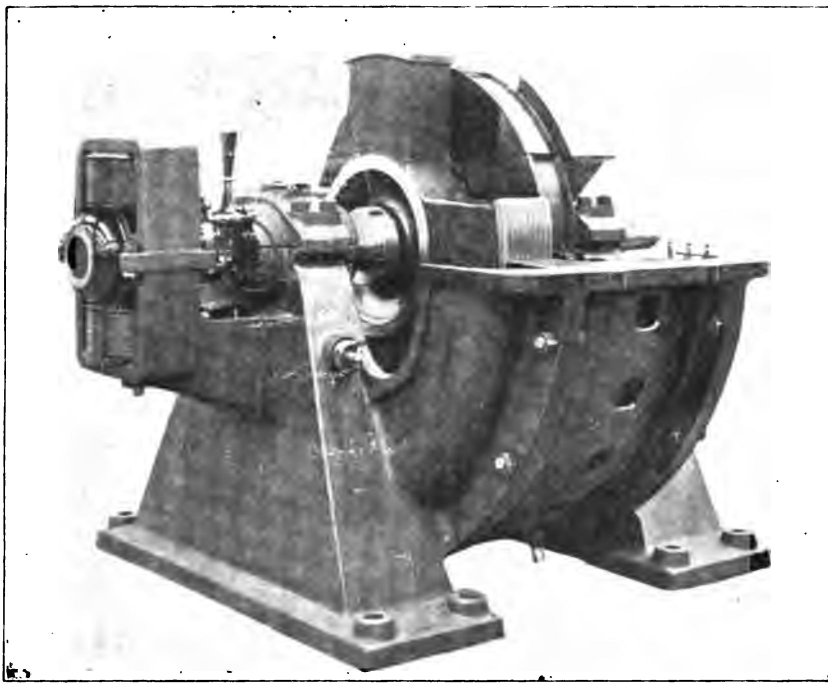


Fig. 4.

stücke des rotierenden Sternes, durch welche eine Vereinfachung der Hochspannungswickelung und eine bessere Ausnutzung des Materials ermöglicht wird. Fig. 5 zeigt die äussere Ansicht des Generators.

Die Maschinengestelle sind nicht gegen Erde isoliert. Als Blitzschutzvorrichtung dient eine dreiteilige Funkenkondensationsplatte mit Luftisolierung. Die Hochspannungsleitung verfolgt ein schwieriges, sehr exponiertes Terrain. Unmittelbar hinter dem Maschinenhause steigt die Linie etwa 270 *m* hoch steil an und senkt sich nachher auf der anderen Seite des vorgelagerten Bergrückens ebenso steil

zu dem 300 *m* tiefer liegenden Luganer See hinab, überschreitet denselben bei Melide, kreuzt die Gotthardbahn unterirdisch und zieht sich dann am Fusse des Salvatore entlang gegen Paradiso und von dort bis in das Quartier nördlich vom Bahnhof in Lugano. Ursprünglich bestand nun die Absicht, die Gleichstromgeneratoren für die projektierte elektrische Strassenbahn in Lugano mit Drehstrommotoren anzutreiben und diese von der gemeinsamen Übertragungsleitung aus zu speisen. Schliesslich wurden jedoch die Drehstrommotoren in die Bahnwagen verlegt. Man erzielte gleichzeitig eine

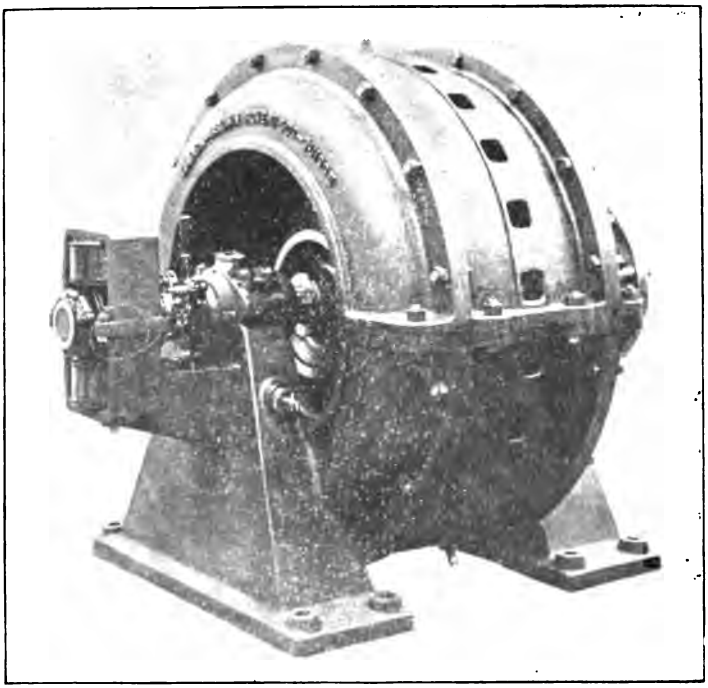


Fig. 5.

wesentliche Verminderung der Bau- und Betriebskosten, und anderseits wurde durch Beseitigung eines beständige Überwachung erfordernden Zwischenorganes, des Drehstrom-Gleichstrom-Umformers, die Betriebssicherheit und der Gesamtwirkungsgrad der Anlage wesentlich erhöht.

Der hochgespannte Fernleitungsstrom wird in einem stationären 60-Kilowatt-Drehstromtransformator von 5000 Volt auf 400 Volt reduziert und von dort aus den Fahrdrähten und Schienen der in nächster Nähe vorbeiführenden Bahnlinie zugeleitet. Die an Erde gelegte Sekundärklemme des Transformators ist ausserdem noch an

dem etwa 400 *m* entfernten Knotenpunkte der drei Zweigstrecken durch einen blanken, in die Erde verlegten 7 *mm* Kupferdraht mit dem Gleise verbunden. Sonstige Speiseleitungen sind nicht vorhanden.

Die gebaute Linie mit einer kurzen Abzweigung nach der Salvatorebahn und der Wagenremise besitzt eine Gesamtlänge von 4,9 *km*.

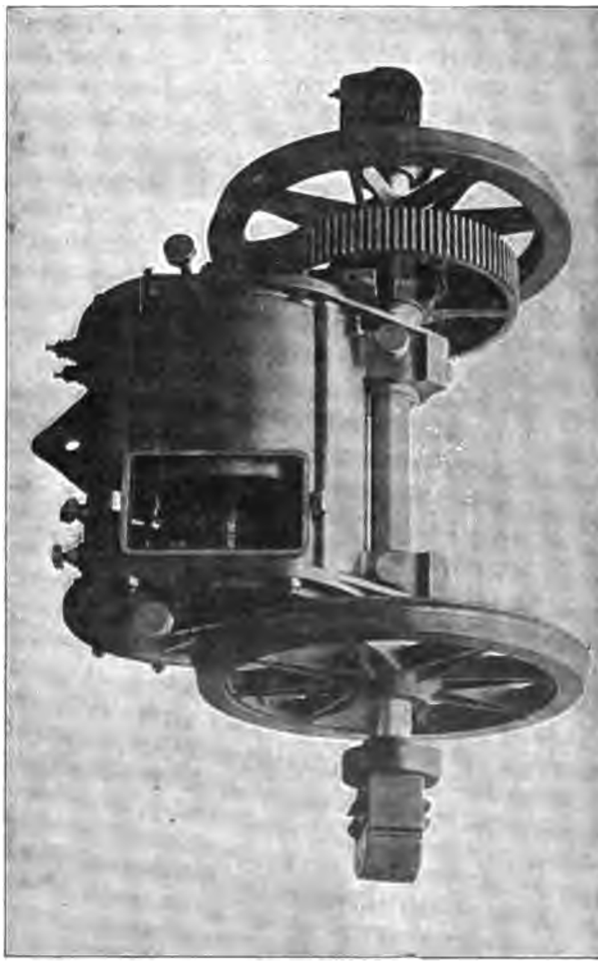


Fig. 6.

Die Spurweite beträgt 1 *m*, der kleinste Kurvenradius ist 15 *m*; die grösste vorkommende Steigung 60 ‰.

Die beiden 6 *mm* starken Fahrdrähte sind grösstenteils an eiserne Ausleger montiert, der gegenseitige Abstand der Drähte beträgt 25 *cm*, die Höhe derselben über Schienenoberkante 5,5 *m*. An den Ausweiche- und Abzweigungsstellen spaltet sich die Fahrdrahtleitung in vier Drähte; da keine Luftweichen angebracht sind, müssen die Wagen hier anhalten, damit die Kontaktarme umgestellt werden können. Es wäre dies unter anderen Verhältnissen ein Nachteil, welcher sich jedoch bei der in Lugano angenommenen Betriebsordnung in keiner Weise geltend macht.

Der Fahrpark besteht aus vier Motorwagen für je 24 Fahrgäste. Jeder Wagen besitzt nur einen Drehstrommotor von 20 PS Nutzleistung, wie ihn Fig. 6 darstellt. Derselbe ist zwölfpolig und macht

bei normaler Periodenzahl 400 Umdrehungen in der Minute bei einer Fahrgeschwindigkeit von 4,2 *m* in der Sekunde oder 15 *km* in der Stunde. Wird der Motor sich selbst überlassen, so ändert sich die Geschwindigkeit nur unmerklich, gleichviel ob der Wagen stark oder wenig belastet ist, ob er sich auf einem Gefälle oder auf einer Steigung bewegt; eine Überschreitung der normalen Fahrgeschwindigkeit kann daher nur eintreten, wenn die Tourenzahl des Generators in der Primärstation erhöht oder wenn beim Hinunterfahren über eine Rampe die Zuleitungen zum Motor unterbrochen werden, in welchem Fall der Wagen natürlich eine beschleunigte Bewegung annehmen müsste.

Dagegen ist es möglich, durch Einschalten von Widerständen in den Stromkreis des rotierenden Teiles die Tourenzahl des Motors von 400 beliebig bis auf Null zu reduzieren.

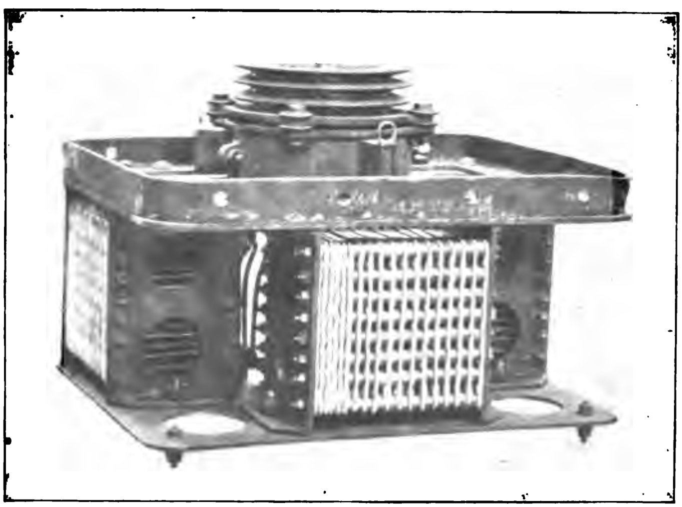


Fig. 7.

Der Motor wiegt ohne Getriebe 690 und mit demselben 820 *kg*. Der Regulierapparat, welcher wie der Motor in das Wagenuntergestell eingebaut ist, zeigt eine ähnliche Konstruktion wie die bei stationären Dreiphasenmotoren gebräuchlichen Anlassapparate. Die Drehung der drei gekuppelten Kontakthebel geschieht mit Hilfe von Stahldrahtlitzen, welche von beiden Führerständen über Leitrollen zu der auf der Hebelachse sitzenden doppelten Rillenscheibe laufen. Fig. 7 stellt den Regulierapparat, Fig. 8 eine Ansicht des Wagenuntergestells mit eingebautem Motor und Regulierapparat dar.

Fig. 9 zeigt eine charakteristische Gesamtanordnung der Bahn. Im Stromkreis des Linienstromes wird nicht reguliert; es befinden sich in demselben auch keine Sicherungen, sondern nur zwei Umschalter. Die weitere Wagenausrüstung besteht aus zwei Stromabnehmern mit Rollkontakten, die seitlich rechts und links um 12,5 *cm* und in der Längsrichtung um etwa 50 *cm* gegen das Wagenmittel versetzt sind. Es verdient erwähnt zu werden, dass die Verwendung zweier Rollen im Betrieb praktisch keine Schwierigkeiten verursacht.

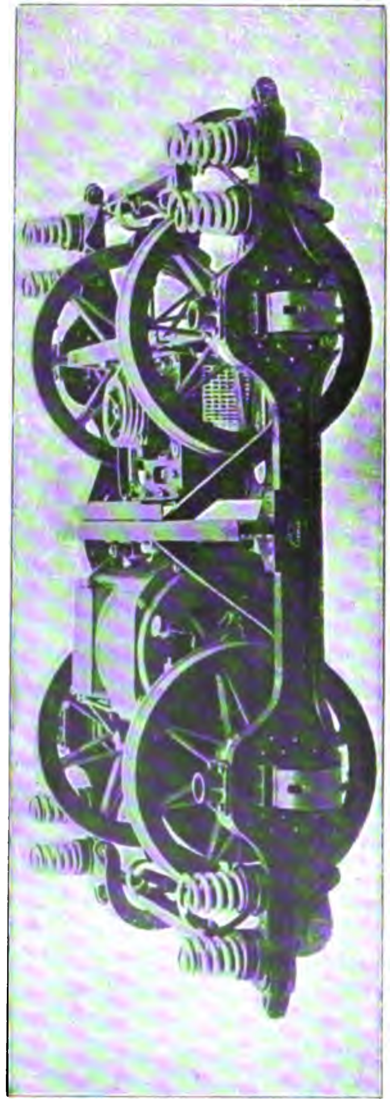


Fig. 8.

Endlich zeigt aber die Bahn in Lugano, welche es ermöglicht, mit einem Drehstrommotorwagen unter voller Belastung auf einer Rampe von 60 ‰ anstandslos anzufahren, und zwar ohne Anwendung besonderer Hilfsmittel, welche für die Vergrösserung der Zugkraft noch zu Gebote stehen, selbst besser als alle anderen Umstände, dass eine grosse Differenz in der Leistungsfähigkeit zwischen Gleichstrom- und Drehstrom-Bahnmotoren kaum mehr vorhanden sein kann. Der Einwand mangelhafter Geschwindigkeitsregulierung ist allerdings für solche Anlagen von einer gewissen Tragweite, in denen regelmässig und anhaltend mit reduzierter Geschwindigkeit gefahren werden muss, und bei denen es nicht gleichgiltig ist, ob in der Kraft-

station vorübergehend etwas mehr Wasser durch die Turbinen oder durch den Leerlauf hinunterfliesst, wie dies beispielsweise in Maroggia zutrifft. Dafür besitzt die Mehrphasenbahn die namentlich für längere Vorort- und Überlandlinien wertvolle Eigenschaft der Selbstregulierung auf konstante Geschwindigkeit bei variablem Kraftverbrauch, sowie den weiteren Vorteil, dass der Motor auf Gefällen in geradezu idealer Weise selbstthätig auf das Netz zurückarbeitet und die Generatorenstation entlastet; diese beiden Eigenschaften geben dem Reihenmotor bekanntlich gänzlich ab.

Sodann ist hier noch zu bemerken, dass die einfache betriebssichere Konstruktion und die grosse Nutzleistung bei kleinem Gewicht, welche stets als Hauptvorzüge der Drehstrommotoren in den Vordergrund gestellt werden, wohl nirgends besser zur Geltung kommen als beim Bahnbetrieb.

Da die Bahn in ihrer ganzen Ausdehnung an Fernsprechleitungen vorbeiführt und eine Periodenzahl von 40 in der Sekunde besitzt, so entstand eine vom Drehstrombetrieb ausgehende Störung, die, wie Versuche ergaben, durch Benutzung isolierter metallischer Rückleitungen für die Telephonströme vollkommen aufgehoben wurde.

Am 10. Juli 1898 wurde in Evian-les-Bains (Frankreich) eine kleine, 300 *m* lange Drehstrombahn, die von Ganz & Co. in Budapest gebaut wurde, eröffnet. Dieselbe bietet betreffs des Geländes, der Steigungen, der Kurven und des Zweckes, dem sie dient, sehr viel des Interessanten. In Fig. 10 ist der obere Endpunkt der Bahn mit dem besetzten Wagen veranschaulicht.

Vollständig auf dem Gebiete der Gesellschaft Eau d'Evian gelegen, hat sie den Zweck, die Bäder mit den Hoteleinrichtungen des Bades zu verbinden. Die Bahn geht vom Hofe vor den Bädern aus, folgt mit zahlreichen Biegungen der grossen Allée, welche sich durch den Park des Hotels hinzieht, und endet an der Terrasse des Grand Hôtel. Die Bequemlichkeit und Eleganz der Wagen bewirkt, dass diese Bahn, trotz ihrer geringen Länge, häufig benutzt wird. Der Wagen braucht genau $1^m\ 45^s$, um die Entfernung von 300 *m*, so weit ist das Hotel von den Bädern entfernt, zu durchlaufen. Diese geringe Geschwindigkeit musste gewählt werden, weil die Trace zahlreiche Kurven von 15 *m* Radius enthält und Steigungen bis zu 102,0 ‰ in Kurven von 30 *m* Radius vorhanden sind.

Die Steigung ist eine konstante, mit Ausnahme von zwei geraden Strecken von 5 *m* Länge am Anfang und von 4 *m* Länge am Endpunkte der Bahn. Bei einer Steigung von 80 ‰ ist eine Kurve vorhanden, welche bei 15 *m* Radius $^2/_8$ ihres Umfanges durchläuft.

Die Gesamterhebung der Bahn beträgt 20 *m*.

Die Schwierigkeiten, die sich aus dem Profil der Bahn ergaben, kamen jedoch erst in zweiter Linie in Betracht gegen diejenigen, welche der Betrieb in elektrischer Beziehung bot. Der Bahnmotor ist unmittelbar an das Beleuchtungsnetz wie ein gewöhnlicher Motor angeschlossen, und obgleich der erstere eine genügende Grösse besitzt um auf ein Netz, wie dasjenige der Stadt Evian einen ungünstigen Einfluss auf die Konstanthaltung der Spannung auszuüben,

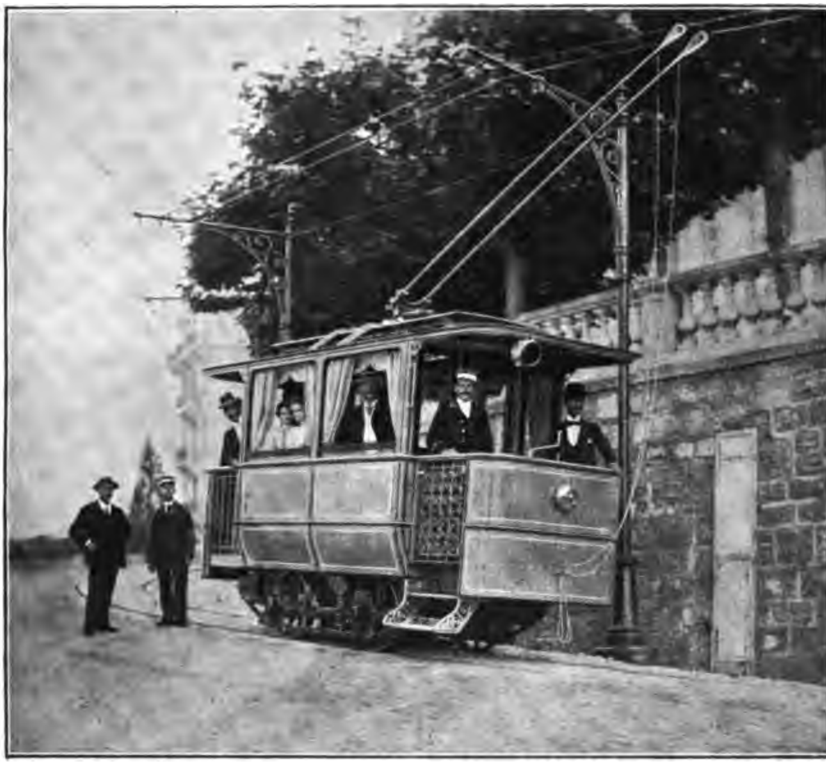


Fig. 10.

so durften sich doch keine Schwankungen des Lichtes bemerkbar machen.

Man hat diesem Umstande dadurch Rechnung getragen, dass man den Widerstand der Leitung möglichst gering gewählt hat, und dass durch äusserst sorgfältige Ausführung der Oberleitungen ein Herausspringen und Abheben der Kontaktrollen vermieden wird.

Die Kraftstation, welche 12 *km* entfernt liegt, erzeugt Dreiphasenstrom von 5200 Volt Spannung und 50 Perioden in der Sekunde;

die Primärleitung wird durch vier Drähte gebildet, von denen einer als neutraler Leiter mit zum Betriebe der Bahn dient. Nachdem die Spannung durch Transformatoren vermindert worden ist, wird der Strom in der Stadt Evian zu Beleuchtungszwecken und zur Kraftabgabe verwendet. Die Lampen brennen mit einer Spannung von 120 Volt zwischen jeder Phase, während die Bahn, wie oben erwähnt, an einer Phase und dem neutralen Leiter liegt, wodurch sich eine Spannung von $\sim$ 200 Volt ergiebt.

Der Fahrdraht besteht aus zwei Bronzedrähten von je 6 *mm* Durchmesser, welche von eleganten schmiedeeisernen Auslegermasten getragen werden; in den Kurven von 15 *m* Radius stehen die Maste nur 10 *m* voneinander entfernt.

Der dritte Leiter wird durch die Schienen gebildet, deren elektrische Verbindungen durch Kupferdrähte mit doppeltem konischen Kontakt hergestellt sind.

Die Schienen sind Stahlvignolschienen mit 9 *kg* und 7 *kg/m* Gewicht.

Die drei Leitungen, welche vom Transformator kommen, gehen nach dem Schaltbrett, welches einen dreipoligen Ausschalter mit Sicherungen, einen Dreiphasenstromzähler und je ein selbstregistrierendes Volt- und Ampèremeter enthält, welche in jedem Augenblick eine Kontrolle darüber gestatten, ob Stromstösse vorkommen, welche das Licht ungünstig beeinflussen könnten.

Die Wagen haben eine Länge von 5 *m* und wiegen leer 3,8 *t*; sie enthalten acht Sitzplätze und auf jedem Perron vier Stehplätze, im Ganzen also für 16 Personen Fassungsraum, ausschliesslich des für Schaffner und Wagenführer benötigten Raumes.

Der Motor ist mit der Luftleitung durch zwei Kontaktstangen mit Rollen verbunden. Man hat hier die Einrichtung der Bahn in Lugano, wo die beiden Stromzuführungen unabhängig voneinander eine hinter der anderen angebracht sind, vereinfacht. Bei der Bahn von Evian sind die beiden Stangen an demselben, auf Kugeln laufenden Fussstück befestigt und werden beide durch dieselbe Feder bethätigt. Diese Stromzuführungsstangen bestehen aus Stahlrohr, welches genügende Elastizität besitzt, um die Rollen der Luftleitung folgen zu lassen, selbst wenn diese und die Schienenachse 0,30 *m* voneinander abweichen.

Wie Fig. 11 zeigt, ist eine Rolle, welche vom Fussstück durch Hartgummi isoliert ist, durch eine sorgfältig vom Wagendach isolierte und durch die Achse des Fussstückes gehende Ringleitung mit einer Klemme des Motors verbunden. Das Fussstück selbst ist an die zweite Klemme des Motors angeschlossen, während die dritte Klemme mit dem Rahmenbau in Verbindung steht.

Der einzige Wagen enthält nur einen Motor zwischen den beiden Achsen. Die normale Arbeitsleistung ist 15 PS, seine Konstruktion gestattet ihm jedoch, ohne Schaden bedeutende Überlastungen zu ertragen, denn während der Versuche wurde seine Leistung während mehr als einer Stunde bis auf 28 PS gesteigert, was einer Mehrleistung von beinahe 100% entspricht. Sein Gewicht ist ca. 800 *kg*.

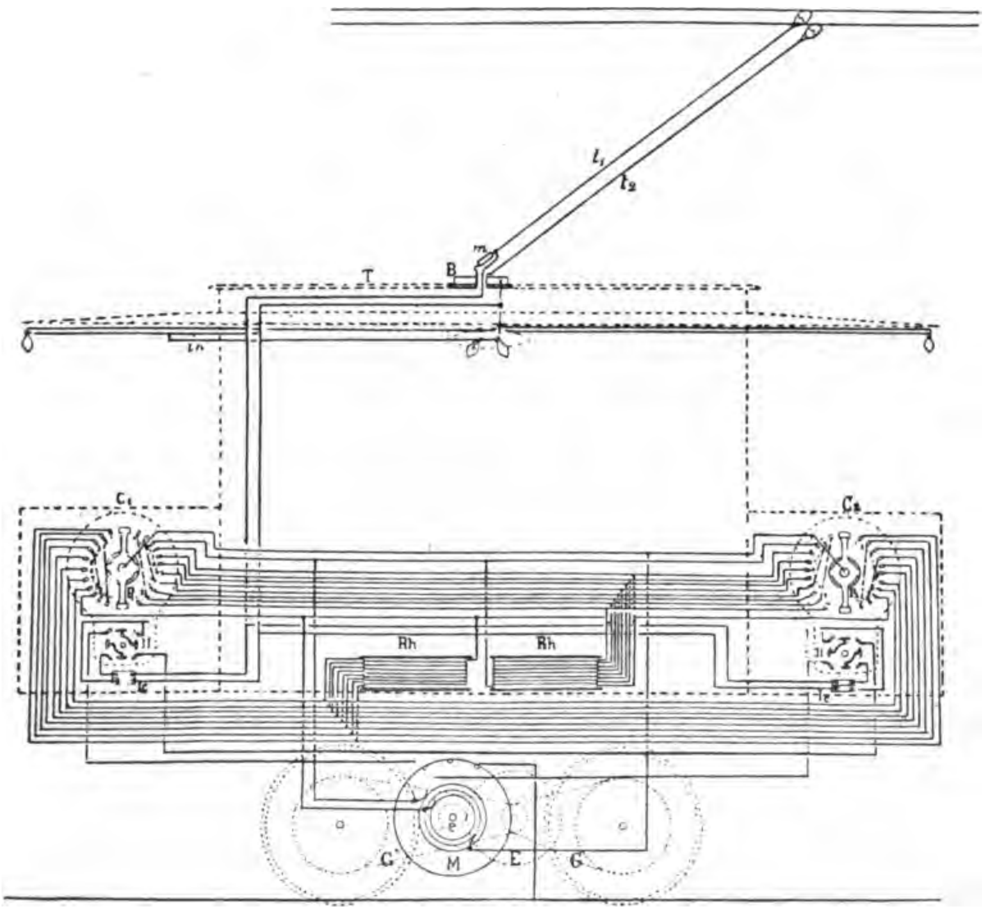


Fig. 11.

Während der Anlassperiode wird Widerstand vor die drei Schleifringe geschaltet. Das Feld ist dreiphasig gewickelt. Der Motor ist wie ein gewöhnlicher Gleichstrommotor vollständig in ein Gehäuse eingeschlossen, welches ihm Schutz gegen Staub, Feuchtigkeit und äussere Beschädigung gewährt. Um sich von dem guten Zustande

des Motors überzeugen und um zu den Schleifringen und Klemmen gelangen zu können, hat man, wie üblich, den oberen Teil des Motors im Guss offen gelassen und diese Öffnung durch einen Deckel abgeschlossen.

Der Motor ist achtpolig und wird durch Strom von 50 Perioden betrieben, er macht 750 Umdrehungen in der Minute. Die beiden Wagenachsen erfordern eine doppelte Übersetzung; es ist ein Zahnräderpaar im Verhältnis 1 : 4 zwischengeschaltet und diese Achse treibt mittels Kettenräder und Galle'scher Kette in der Übersetzung 23 : 10 die Wagenachsen an, wie in der Figur ersichtlich.

Auf jedem Perron steht ein Schalter, rechts vom Wagenführer befindet sich der Handgriff der mechanischen Bremse, in der Mitte ist die Signalglocke und an der Innenseite der Handgriff, welcher die Sandstreuvorrichtung bethätigt. Der Schalter besteht aus zwei verschiedenen Teilen mit gemeinsamer Bethätigung. Im inneren, unteren Teile befindet sich der Umschalter für den Erregerstrom. Darüber ist der Steuerapparat angebracht, welcher für den Vorwärtslauf neun Stufen und für den Rückwärtslauf zwei Stufen enthält.

Die Widerstände werden aus einer Anzahl ausgestanzter Schwarzbleche gebildet, welche mit isolierenden Zwischenlagen aufgeschichtet sind.

Die Bewegung des Wagens beginnt, sobald der Strom 15 bis 20 Ampère erreicht, während der Bergfahrt bleibt die Geschwindigkeit annähernd konstant, während der Stromverbrauch in den Kurven, welche zugleich Steigungen enthalten, zwischen 30—70 Ampère schwankt.

Bei der Thalfahrt hat man von der elektrischen Bremsung Gebrauch gemacht, deren Einrichtung vollkommen verschieden von derjenigen für Gleichstrom ist.

Im letzteren Falle gestattet die elektrische Bremsung eine Herabminderung der Geschwindigkeit beinahe bis zum Stillstand, während man bei der Bremsung mit Dreiphasenstrom die Geschwindigkeit nur bis auf die normale vermindern kann, da der Motor einen, mit der Primärmaschine synchronen Lauf besitzen muss, um als Bremse zu wirken. Eine Gefahr könnte nur dann entstehen, wenn die beiden Rollen entgleisen und dadurch eine plötzliche Unterbrechung der Bremsung eintritt. Auf einer gut angelegten Linie jedoch ist ein solcher Zufall nicht zu befürchten und in diesem Falle wird, wenn eine Rolle entgleist, die andere noch vollkommen genügen, um das Arbeiten des Motors, jetzt allerdings als Einphasengenerator, zu gestatten. Übrigens ist der Wagen noch mit einer Holzschuhvorfallbremse ausgerüstet, welche im Falle der Gefahr ein plötzliches Anhalten gewährleistet. Gegen die obenerwähnten kleinen

Übelstände bietet die elektrische Bremsung mit Dreiphasenstrom gegenüber dem Gleichstrom gewisse Vorteile, besonders bei grossen Anlagen. Ohne von der besonderen Einfachheit seiner Einrichtungen zu sprechen, welche keinerlei weitere Apparate im Steuerschalter erfordert, da die Schaltung auf Vorwärtslauf und Bremsung dieselbe ist, so möge doch der regulierende Einfluss auf die von der Kraftstation zu liefernde Strommenge nicht unerwähnt bleiben. Der vom Dreiphasenmotor im Gefälle erzeugte Strom wird in die Leitung zurückgeschickt und unterstützt somit die Kraftstation. Dasselbe erreicht man bei Gleichstrom nur mit Nebenschlussmotoren, worüber das nächste Kapitel näheres bringt.

Wohl das kühnste aller bisherigen Bahnprojekte, die Jungfraubahn, hat sich die Vorteile des Drehstromes als Unterlage dienen lassen, weil dort die Verhältnisse zur Anwendung des dreiphasigen Wechselstromes denkbar günstig sind:

1. Die Entfernung von der Stromerzeugungsstelle bis zur Stromverbrauchsstelle wäre für Gleichstrom unwirtschaftlich.

2. Neben dem Bahnbetrieb sollten noch andere Motoren und elektrische Beleuchtungsanlagen betrieben werden.

3. Induktionsstörungen können mangels vorhandener Schwachstromanlagen nicht eintreten. Neu zu verlegende Telephon- und Telegraphenleitungen können störungsfrei angeordnet werden.

4. Die Anbringung von zwei Leitungen oberhalb der Laufschienen ist weder im Tunnel noch auf der freien Strecke, noch in den Stationen mit Schwierigkeiten verknüpft.

5. Eine Akkumulierung des elektrischen Stromes, wie bei Gleichstrom, verspricht keinen grossen wirtschaftlichen Erfolg, da die Wassermassen jederzeit im Überfluss vorhanden sind.

6. Drehstrommotoren können ebenso wie Gleichstrom-Nebenschlussmotoren als Stromerzeuger bei der Thalfahrt arbeiten und besitzen die gleich grosse Anzugskraft wie diese.

Mehrere mit Drehstrom betriebene Zahnrad- und Steilbahnen sind im Kapitel Steilbahnen behandelt.

Die 750 *m* lange Fabrikbahn in Körbisdorf arbeitet nach dem Drehstromsystem mit drei Oberleitungen und dreiarmiger Kontaktstange ohne Zuhilfenahme der Erdleitung. Die Bahn wird zum Herbeischaffen von Braunkohlen von einer Kohlengrube in das Kesselhaus der Zuckerfabrik Körbisdorf benutzt. Die Kohlen werden in Hunde verladen und ungefähr 12—15 Stück derselben werden an die Lokomotive angehängt.

Die 40 *km* lange normalspurige Eisenbahn von Berthoud nach Thoune kann als erste Ausführung einer mit Drehstrom betriebenen Vollbahn gelten.

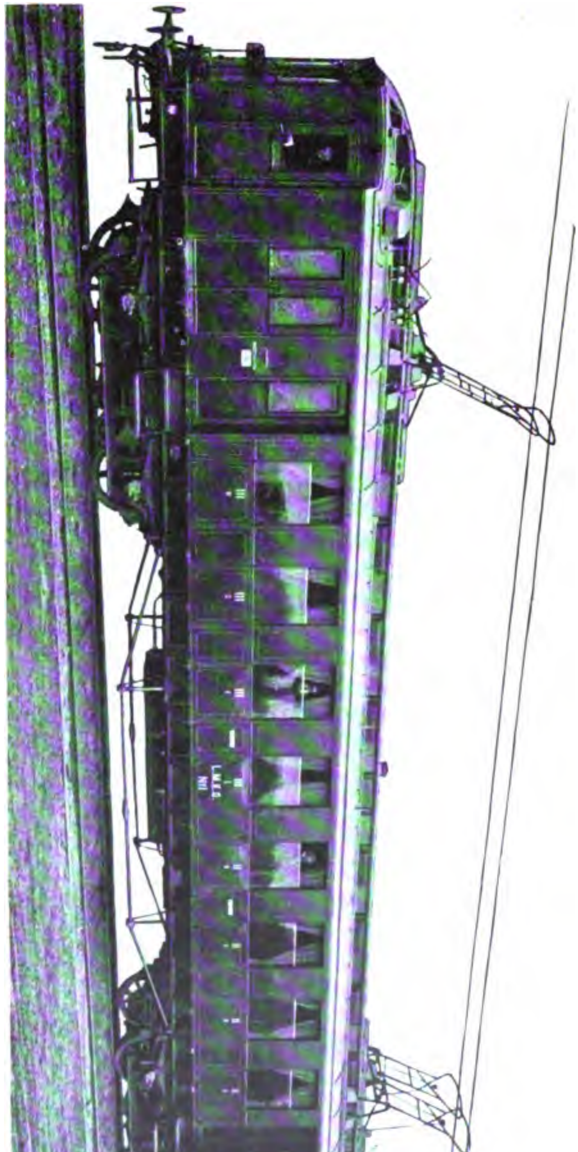


Fig. 12.

Die von der A.-G. Elektrizitätswerke (vorm. O. L. Kummer & Co.) Dresden erbaute Gebirgsbahn Murnau-Oberammergau wird ebenfalls mit Drehstrom betrieben. Hier wird der Strom durch zwei Paar Bügel der doppelpoligen Fahrdrahtleitung entnommen, wie Fig. 12 zeigt. Die Leitungsanordnung dieser Bahn, mit einer dreiteiligen Weiche, ist in Fig. 13 dargestellt.



Fig. 13.

Bei der Gebirgsthalbahn Burgdorf-Thun ist die in Fig. 14 dargestellte Leitungsanordnung zur Durchführung gelangt. Die Oberleitung ist zweipolig, die Fahrschienen sind ebenfalls leitend verbunden. Die einzelnen Masse ergeben sich aus der Zeichnung.

Einige typische Formen weisen die Betriebsmittel dieser Bahn auf. Der vierachsige Personenwagen ist in Fig. 15a—f im Grundriss, Aufriss und Querschnitt dargestellt. Jede der vier Achsen ist mit einem 60 PS Motor (M) für 750 Volt ausgerüstet. Die Vorschaltwiderstände W liegen unter dem Wagen. Jeder Perron enthält einen Schalter C, mit welchem in üblicher Weise die verschiedenen Schalt-

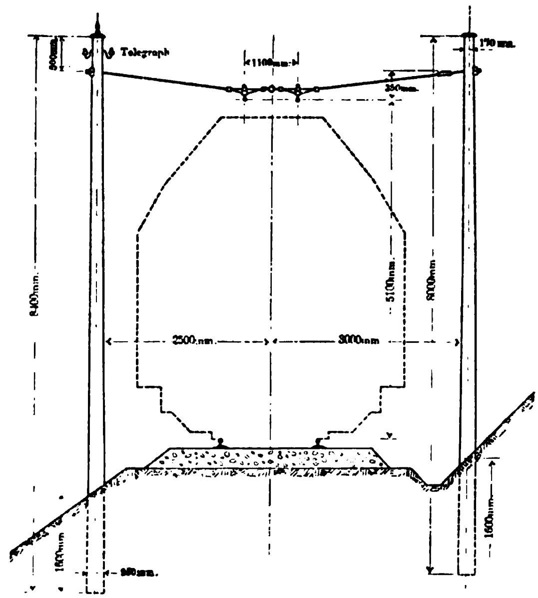


Fig. 14.

phasen beherrscht werden. Die zweipoligen Fahrdrahtbügel B sind doppelt über je einem Drehgestelldrehpunkt montiert. Für elektrische Heizung, Bremsung und Beleuchtung des Wagens dient ein 100 voltiger Strom, der durch den Transformator T von 18 KW Leistung herabtransformiert wird. Zur Erzeugung der Bremspressluft dient ein 4 PS Motor (b) für 100 Volt. Die üblichen Mess-, Sicherungs- und Schaltapparate, die Beleuchtungs- und Heizkörper sind in ihrer schematischen Anordnung auf den Zeichnungen ersichtlich.

Die hier verwendete Adhäsionslokomotive ist in Fig. 16 schematisch dargestellt. Sie besitzt zwei Motoren von je 150 PS bei 750 Volt, welche auf einer gemeinsamen Achse arbeiten, die vermittels Zahnräder eine Kurbelachse antreiben. Von dieser Kurbelachse gehen vier Kurbelstangen auf die Radkurbelzapfen. Stromabnahme, Stromverteilung, -Regulierung, -Messung u. dergl. sind analog wie beim Motorwagen.

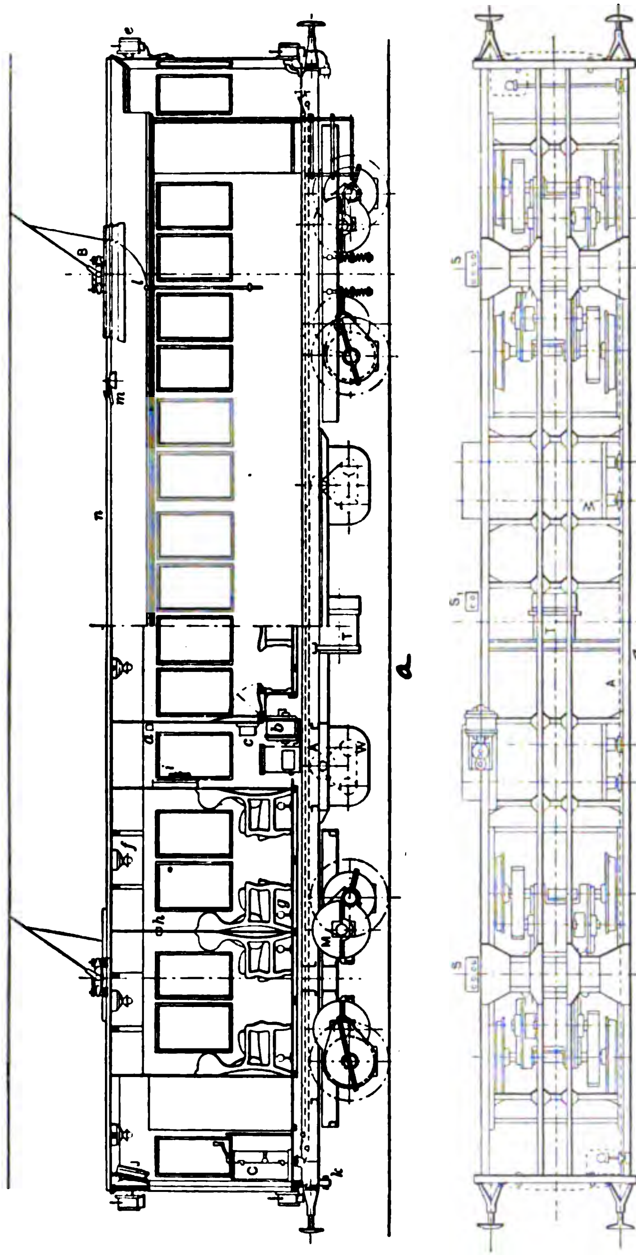
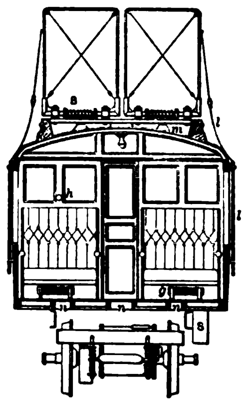
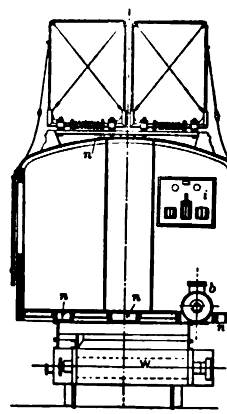


Fig. 15.

Interessante und grundlegende Studien und Versuche über Verwendung des hochgespannten Drehstromes für den Betrieb elektrischer Fernbahnen hat Walter Reichel in der ETZ 1900, Heft 23, infolge seiner persönlich gesammelten Erfahrungen an einem von der Siemens & Halske'schen A.-G. angestellten Versuchsbetrieb veröffentlicht, welche hier auszugsweise folgen.

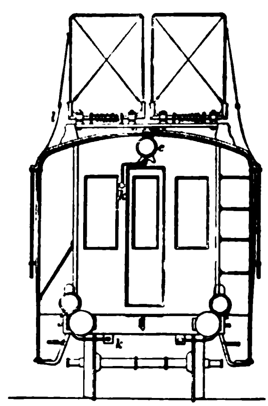


c



d

Nach Klarstellung einiger geschichtlicher Daten erwähnt er die ersten Versuche, Drehstrom für Bahnzwecke zu verwenden. Diese Versuche reichen bis in das Jahr 1892 zurück. Alsdann werden



e



f

die Vorteile und Nachteile des Drehstrombetriebes für Strassenbahnen gekennzeichnet, wie dies an dieser Stelle vorher bereits geschehen ist.

Das erste Fahrzeug wurde zur Weltausstellung nach Chicago gesandt und beschrieben in »Electrical World«, Jahrgang 1893, Band 99, No. 9, Seite 164.

Der Bau der Fernbahnen, für die sich der Drehstrom gerade infolge seiner leichten Transformierbarkeit besonders gut eignet, kam

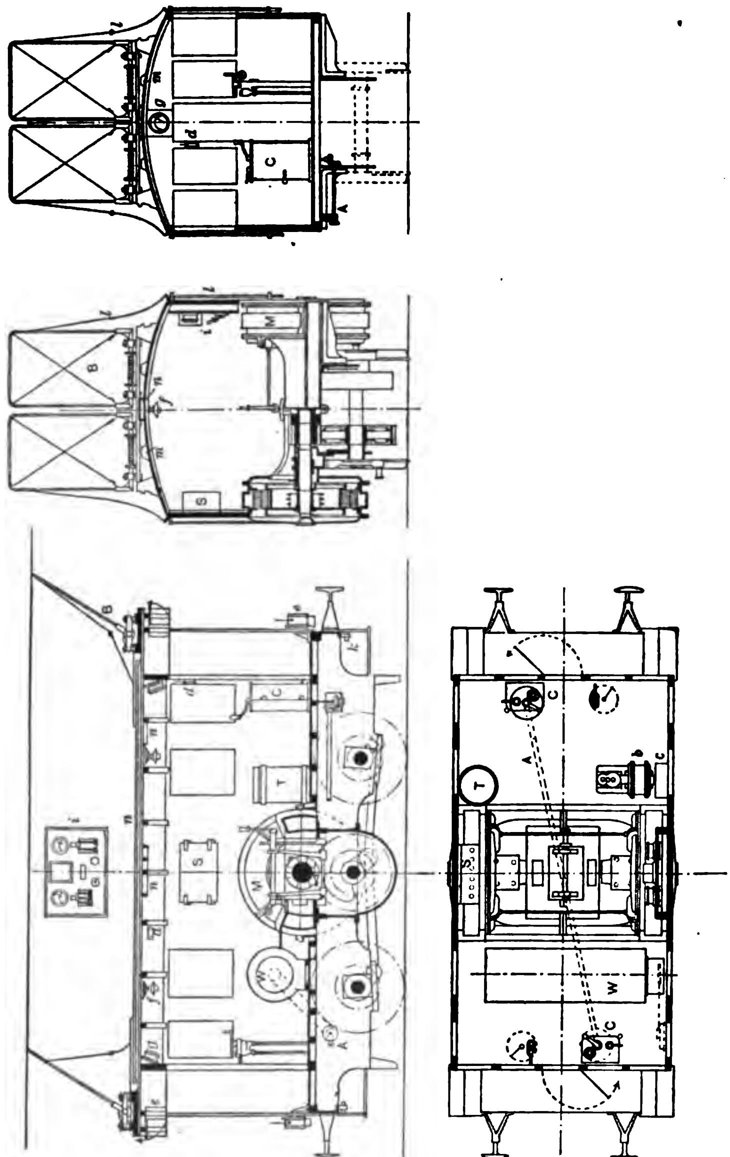


Fig. 16.

damals trotz günstiger Vorversuche nicht vorwärts, sondern die Anwendung des Drehstromes fand bei längeren Nebenbahnen, wie be-

schrieben, Anwendung, da sich die Vorbedingungen für die Anwendung des Drehstromes bei Klein- oder Vorortbahnen mit eigenem Bahnkörper und bei Vollbahnen wesentlich günstiger gestalten. Bei diesen ist der Drehstrom vielfach dem Gleichstrom bedeutend überlegen und kann in manchen Fällen, in denen an die Anwendung des letzteren überhaupt nicht mehr zu denken ist, mit dem grössten Erfolge noch nutzbar gemacht werden. Bei solchen Bahnen handelt es sich nicht um eine heftig schwankende Kraftentwickelung wie bei Strassenbahnen, nicht um einen starken Wechsel der Zugkräfte auf der Horizontalen und auf Steigungen, sondern um einen ruhigen und gleichmässigen Kraftverbrauch, bei welchem die Motoren dauernd mit derselben Drehzahl arbeiten können. Da, wo stärkere Steigungen auftreten (beispielsweise bei Gebirgsbahnen), sind dieselben auch von längerer Dauer, sodass die Motoren nur mit Rücksicht auf diese und auf Dauerleistung bei der Bergfahrt zu bestimmen sind.

Bei den Klein-, Vorort- und Fernbahnen gestattet der eigene Bahnkörper die Verlegung blanker, oberirdischer Leitungen, in denen die Spannung des elektrischen Stromes beliebig hoch gewählt werden kann, womit Energielieferung auf grosse Entfernung verknüpft ist.

Da nach dem jetzigen Stande der Praxis im Motorenbau wohl angenommen werden darf, dass Gleichstrommotoren für Bahnzwecke sich für Spannungen über 1000 Volt noch nicht geräumig, sicher und billig genug werden ausführen lassen, so wird man bei Verwendung von Gleichstrom bei Kleinbahnen mit oberirdischer Stromzuführung kaum über 1000 Volt gehen wollen (Mittelspannung); dagegen kann man Drehstrommotoren für Bahnzwecke zur Zeit mit Spannungen bis etwa 4000 Volt bauen. Demnach sind folgende Fälle der Übertragung der elektrischen Energie in blanken, oberirdischen Leitungen in Betracht zu ziehen:

1. Gleichstrom bis 1000 Volt abgenommen. Eine grössere Anzahl von Kraftstätten in bestimmten Abständen voneinander, Zuhilfenahme von Akkumulatoren-Bufferbatterien.

2. Gleichstrom bis 1000 Volt abgenommen. Eine grössere Anzahl von Unterstationen in bestimmten Abständen mit umlaufenden Transformatoren, welche hochgespannten Drehstrom in Gleichstrom umwandeln. Zuhilfenahme von Bufferbatterien. (Manhattan Elevated and Metropolitan Street Railway New-York.) (Tronawanda Lockport und Niagara-Fall, Street Railways.)

3. Drehstrom bis 1000 Volt abgenommen und den Motoren unmittelbar zugeführt. Stehende Transformatoren längs der Strecke und Primärspannung beliebig. (Burgdorf—Thun.)

4. Drehstrom 1000—4000 Volt abgenommen und den Motoren der Betriebsmittel unmittelbar zugeführt. Ein Kraftwerk mit gleich hoher Spannung. (Lecco—Colico—Sondrio.)

5. Drehstrom 4000—15000 Volt und mehr abgenommen, auf den Betriebsmitteln umgewandelt und dann den Motoren zugeführt. Kraftwerk hat die gleiche Spannung. (Fernbahnen.)

Welcher der genannten Fälle benutzt wird, muss an Hand der Berechnung der Leitungsanlage und der Konstruktion der Betriebsmittel für den einzelnen Fall entschieden werden. Für manche Fälle der Fernübertragung aber liegt es von vornherein klar auf der Hand, dass die in letzter Linie genannte Art der Stromabnahme die allein anwendbare ist, so beispielsweise für eine elektrische Bahn von Berlin nach Hamburg von etwa 240 *km* Länge, bei welcher für einen Zug während des Beharrungszustandes vermutlich etwa 1220 elektrische PS an der Stelle der Abnahme aus den Zuleitungen erforderlich sein werden. Eine einfache Rechnung giebt hierüber Aufschluss. Es werden folgende Annahmen gemacht:

Je ein Zug fährt vom Endpunkte ab, sie kreuzen sich in der Mitte.

Q = Leitungsquerschnitt (in Kupfer gerechnet),
c = spezifischer Ohm'scher Widerstand für das Kilometer Leitung bei 1 *qmm* Kupferquerschnitt = 17,6 Ω,
E_I = Primärspannung, E' = Spannungsverlust,
E_{II} = Sekundärspannung,
J = Stromstärke,
A_{II} = Arbeit bei E_{II}.

I. Entnahme von $E_{II} = 900$ Volt Gleichstrom aus der Zuführungsleitung an der äusserst entfernten Verbrauchsstelle (Fall 2).

$$A_{II} = E_{II} \cdot J = 1220 \cdot 736 = 900000 \text{ Watt},$$

$$J = \frac{900000}{900} = 1000 \text{ Amp.},$$

$Q_1 = 1000$ *qmm* für Hinleitung,
$Q_2 = 4000$ » » Rückleitung.

Spannungsverlust für 1 *km* Hinleitung:

$$e' = \frac{c}{Q} \cdot J = \frac{17{,}6 \cdot 1000}{1000} = 17{,}6 \text{ Volt},$$

Spannungsverlust für 1 *km* Rückleitung:

$$e'' = \frac{17{,}6 \cdot 1000}{4000} = 4{,}4 \text{ Volt}.$$

Bei 8 *km* Länge ist der Gesamtspannungsverlust:

$$E' = 8\,(e' + e'') = 140 \text{ Volt} + 35 \text{ Volt} = 175 \text{ Volt},$$

das sind 16 % Spannungsverlust.

Es muss mithin die von den Transformatoren der Unterstationen abgegebene Gleichstromprimärspannung:

$$E_I = 900 \text{ Volt} + 175 \text{ Volt} = 1075 \text{ Volt}$$

betragen. Damit die Transformatoren nicht so gross zu werden

brauchen, sind Akkumulatorenbatterien aufgestellt und werden ausserdem noch Zusatzmaschinen angewendet, um weitere 7 *km*, also zusammen $8 + 7 = 15$ *km* nach jeder Seite hin von den Unterstationen aus speisen zu können. Erforderlich sind dann 8 Unterstationen. Zur Kraftlieferung an diese dienen zwei Hauptkraftwerke für Drehstrom von 12—15000 Volt Spannung, welche etwa in $^1/_4$ der ganzen Länge, also 60 *km* Entfernung von den beiden Endpunkten liegen würden.

II. Wir setzen voraus, dass nur eine Kraftstätte in der Mitte der Strecke sich befindet und entnehmen eine Spannung $E_{II} = 12000$ Volt Drehstrom aus den Zuführungsleitungen an dem 120 *km* von der Kraftstätte entfernt liegenden Endpunkt. Dann ist:

$$A_{II} = E_{II} \cdot J \cdot \cos\varphi_1 \cdot \sqrt{3} = 900000 \text{ Watt},$$

$$J = \frac{900000}{12000 \cdot 0{,}85 \sqrt{3}} = \text{rund } 52 \text{ Amp.},$$

$$Q = 100 \; qmm.$$

Gesamtwiderstand der Strecke bei 120 *km* Länge und 100 *qmm* Querschnitt:

$$W = \frac{17{,}6}{100} \cdot 120 = \text{rund } 21\ \Omega,$$ daher ist der Ohm'sche Spannungsverlust der Leitung $E_1 = W \cdot J =$ rund 1100 Volt.

Induktiver Spannungsverlust:

$$E_l = C \cdot \sim L \cdot J = 0{,}0059 \cdot 2{,}5 \cdot 120 \cdot 52 = 900 \text{ Volt}.$$

Graphisch zusammengesetzt (Fig. 17) ist der Gesamtspannungsverlust

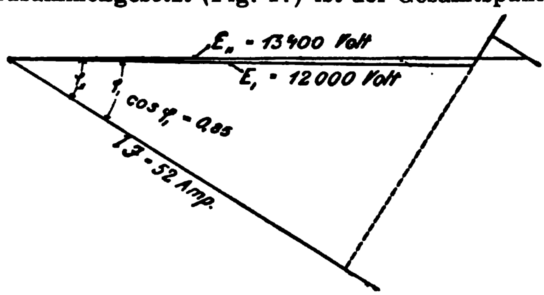


Fig. 17.

ermittelt zu 1400 Volt, d. i. rund 10 % der Primärspannung E_1 von 13400 Volt.

Der Vergleich zeigt also, dass bei Fall 2 acht Unterstationen und zwei Kraftwerke, bei Fall 5 nur ein Kraftwerk erforderlich sind.

Die hier hervorspringenden Vorteile des Drehstromes bestehen in:

1. Verwendung stillstehender Transformatoren (im Gegensatz zu umlaufenden, welche der Wartung bedürfen) zur Erhöhung oder Erniedrigung der Spannung.

2. Motoren ohne Kommutatoren für hohe Spannung im Gegensatz zu den Gleichstrommotoren, bei denen erstens ein Feuern des Kommutators diesen selbst angreift und zweitens bei grösseren Spannungen und dem engen Bau ein Überspringen der Spannung nach dem Gehäuse oder von Bürste zu Bürste verursacht.

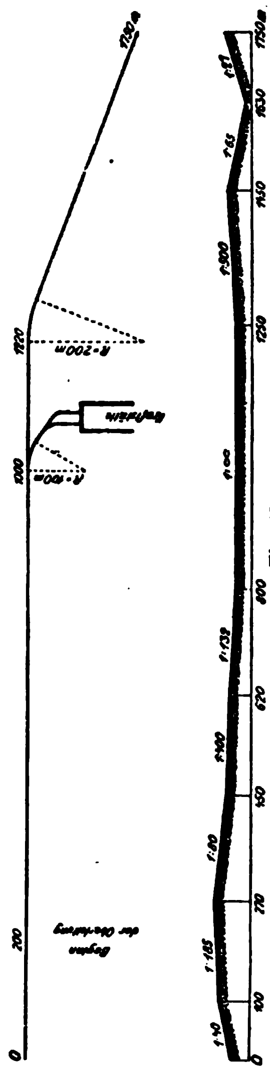


Fig. 18.

3. Die Vorteile ad 1 und 2 ergeben die Möglichkeit der Verwendung hoher Spannungen in den Übertragsleitungen und der Energielieferung auf grosse Entfernung, grosse Kraftwerke mit guten Maschinen, wenig Bedienungsmannschaft, leichte Kontrolle des Fahrplanes durch Selbstregelung der Fahrgeschwindigkeit durch die Motoren.

Im November des Jahres 1897 nahm die Firma Siemens & Halske A.-G. auf Grund der vorstehenden Erwägungen die Versuche mit Drehstrom wieder auf und rief auf besonderem Gelände eine Versuchsbahn ins Leben.

Für diesen Bau wurde folgendes Programm aufgestellt:

1. Erprobung der elektrischen Ausrüstung von Betriebsmitteln bei Verwendung von Drehstrommotoren, bei Geschwindigkeiten bis 60 *km* und Spannungen bis 10000 Volt.

2. Erprobungen geeigneter Stromabnehmervorrichtungen verschiedener Anordnung, Sicherung gegen Folgen von Drahtbrüchen, Ausbildung der Weichen, Kurven u. s. w.

Als geeigneter Ort für dieselben wurde auf dem Gebiete der Gemeinden Gross-Lichterfelde und Zehlendorf die Teltowerstrasse ermittelt, welche, etwa 3 *km* lang, unbebaut und wenig befahren oder begangen ist. Im Frühjahr 1898 wurde ans Werk gegangen und bis Anfang des Jahres 1899 die Anlage so fertiggestellt, wie sie aus dem Plan Fig. 18 ersichtlich ist. Die normalspurige Fahrstrecke wurde um an Kosten zu sparen zunächst nur etwa 1,8 *km* lang, das Kraftwerk etwa in der Mitte angelegt. An Kurven waren vorhanden: eine von 200 *m*

Halbmesser und solche von 100 und 40 *m*, welche zu der nach der Kraftstätte und dem Wagenschuppen abzweigenden Weichenanlage gehören.

Für die Oberleitung mussten, mit Rücksicht auf die Lage an

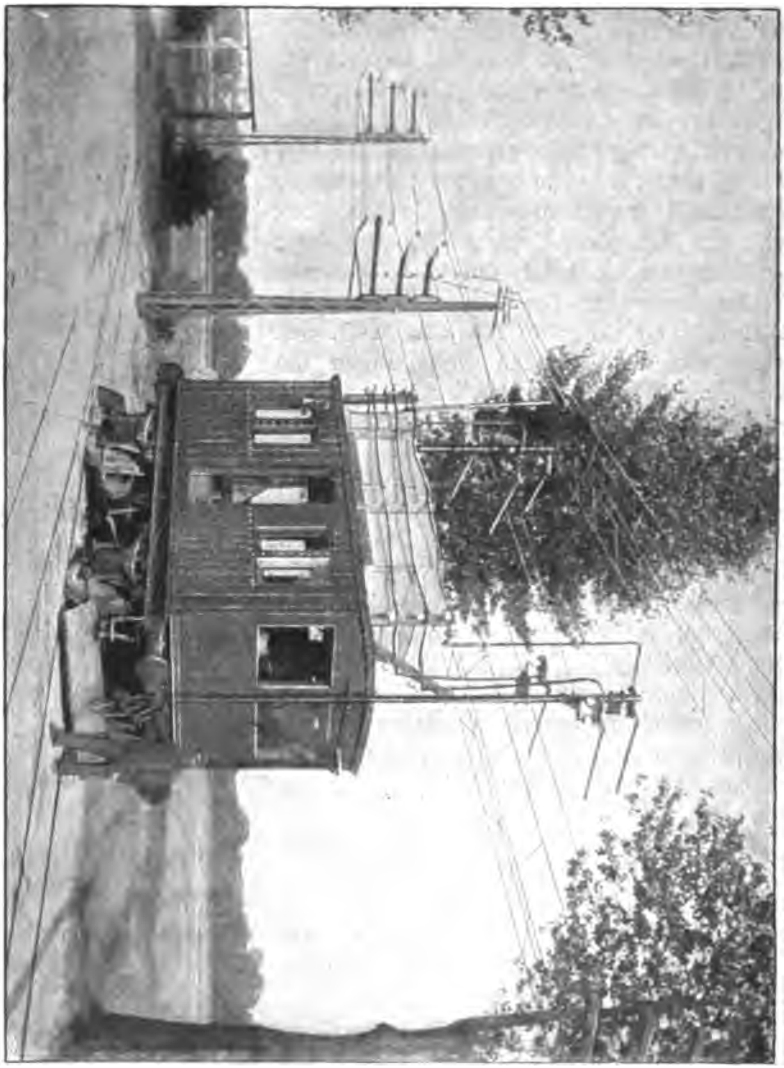


Fig. 19.

einer öffentlichen Strasse, unterhalb der Leitungen Schutznetze angebracht werden und es konnten daher im Laufe der Versuche nur zwei Systeme von oberirdischen Leitungen probiert werden und zwar:

1. eine solche Anordnung, dass die Stromabnahme durch die Schleifkontakte von oben erfolgen konnte.

2. Stromabnahme durch Seitenschleifkontakte.

Der gewöhnliche Kontakt von unten mit Rolle oder Bügel, wie er bei den Strassenbahnen Lugano, Stansstad-Engelberg, Burgdorf-Thun, Lecco-Colico-Sondrio Verwendung findet, konnte nicht probiert werden und hätte wohl auch keine von den bereits bekannten wesentlich verschiedene Ergebnisse gezeitigt. Von den üblichen Rollenkontakten wurde ausserdem deshalb Abstand genommen, weil die Gefahr des Entgleisens der Rolle bei grösseren Geschwindigkeiten zu gross ist.

Bei der ersten Anordnung der Oberleitung, Schleifkontakt von oben (Fig. 19 und 20), bestand die Fahrleitung aus drei parallelen

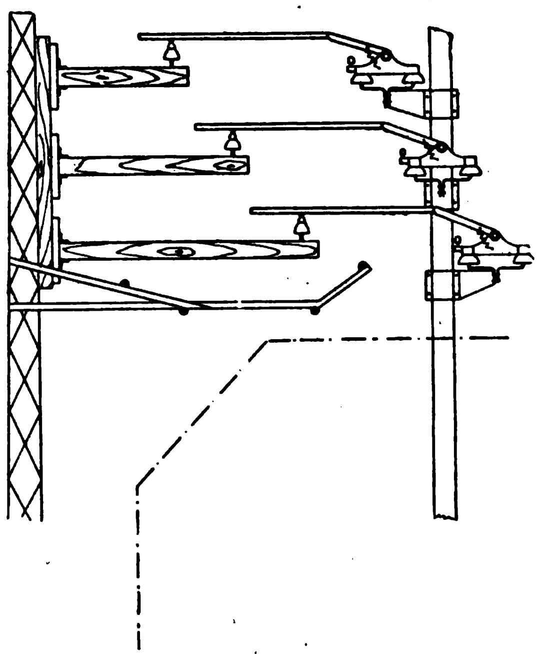


Fig. 20.

8 *mm* starken Hartkupferdrähten, die durch Bronzeklemmstücke auf dreifachen Glockenisolatoren festgehalten waren und in einer schrägen Ebene lagen. Die Isolatoren waren Porzellanisolatoren, welche bei Prüfung im Wasserbassin $^1/_2$ Stunde lang 15000 Volt gut aushielten und waren auf hölzerne Ausleger aufgeschraubt, die ihrerseits drehbar an den Eisenmasten befestigt waren. Die Drehbarkeit der Arme war gewählt, um die Drähte einzeln gleichmässig abzuspannen und

die Abspannung wiederum hat den Zweck, den Durchhang der Fahrdrähte Sommer und Winter konstant zu halten. Sie ist eine selbstthätige und wird in Abständen von je 500 *m* durch eine lose Rolle und einen Flaschenzug mit sechs Rollen bewirkt, sodass die Oberleitungsdrähte zusammen 1500 *kg* Zug erhalten. Die Drähte sind vor dem Flaschenzug in eine Öse eingehängt, nachdem sie vorher durch die normalen Spannvorrichtungen aus Hartgummi, von denen in jeder Leitung je drei hintereinander sitzen, isoliert sind. Diese Isolation ist derartig gut, dass bei Prüfung in horizontaler Lage unter der Wassertraufe erst bei 21 000 Volt Feuererscheinungen auftraten.

Später, im Laufe der Versuche, wurde die Leitungsanlage umgebaut und nach Frischmuths Angaben für Seitenschleifkontakte eingerichtet. Hierbei (Fig. 21) liegen alle drei Leitungen in einem Abstande von 1 *m* voneinander in einer Vertikalebene; statt der drehbaren Holzarme wurden U-Eisen nach einer Ellipse gekrümmt angebracht. In der Richtung der grossen Achse derselben sind Zugorgane zwischen die Endpunkte der U-Eisen derart eingespannt, dass an ihnen die Isolatorstützen etwas schräg nach aussen stehend befestigt werden konnten. Auf diesen sind vermittels Hanfseil die kräftigen, dreifachen Porzellanglockenisolatoren aufgedreht. Die Leitungen können seitlich etwas ausweichen, sind also in ähnlicher Weise nachgiebig aufgehängt, wie bei den bekannten Auslegern für Kontakt von unten. Die seitlich über die Isolatoren ausladenden metallischen Tragschnäbel der 8 *mm* Kupferdrähte laufen in Metallringe aus, welche mit Druckschrauben und Federringen die Hälse der Isolatoren fest umklammern.

Als Tragmaste für die Oberleitung sind Gittermaste aufgestellt, die ca. 1,9 *m* tief in den Erdboden eingelassen sind. Als Abspannmaste sind stärkere eiserne Gittermaste verwendet, die ebenfalls 1,9 *m* tief in der Erde stehen. Dieselben sind des grossen seitlichen Zuges (von 1500 *kg*) wegen mit 1,5 *cbm* Beton umgossen. Die Abspannmaste sind auch zugleich Tragmaste. Die Entfernung der Masten auf der geraden Strecke beträgt 40 *m*, in den Kurven haben dieselben entsprechend geringeren Abstand. Bei 40 *m* Abstand der Masten betrug der Durchhang rund 150 *mm*. Die Masten wurden, um das Berühren derselben auch bei Kurzschluss mit Hochspannung ungefährlich zu machen, jeder einzeln durch die Schienen sorgfältig geerdet und zwar mit 8 *mm* starker Kupferleitung, die beiderseits verschraubt und verlötet war.

An der Einfahrt zur Kraftstätte muss, entsprechend der Schienenweiche unten, eine Oberleitungs-Luftweiche vorhanden sein. Diese ist entsprechend dem Bau des Stromabnehmers in der Art

ausgebildet, dass an der betreffenden Stelle die zur Kraftstätte abgehenden Fahrleitungen vollständig unterbrochen und die Speiseleitungen in solcher Höhe über die Strasse geführt werden, dass die

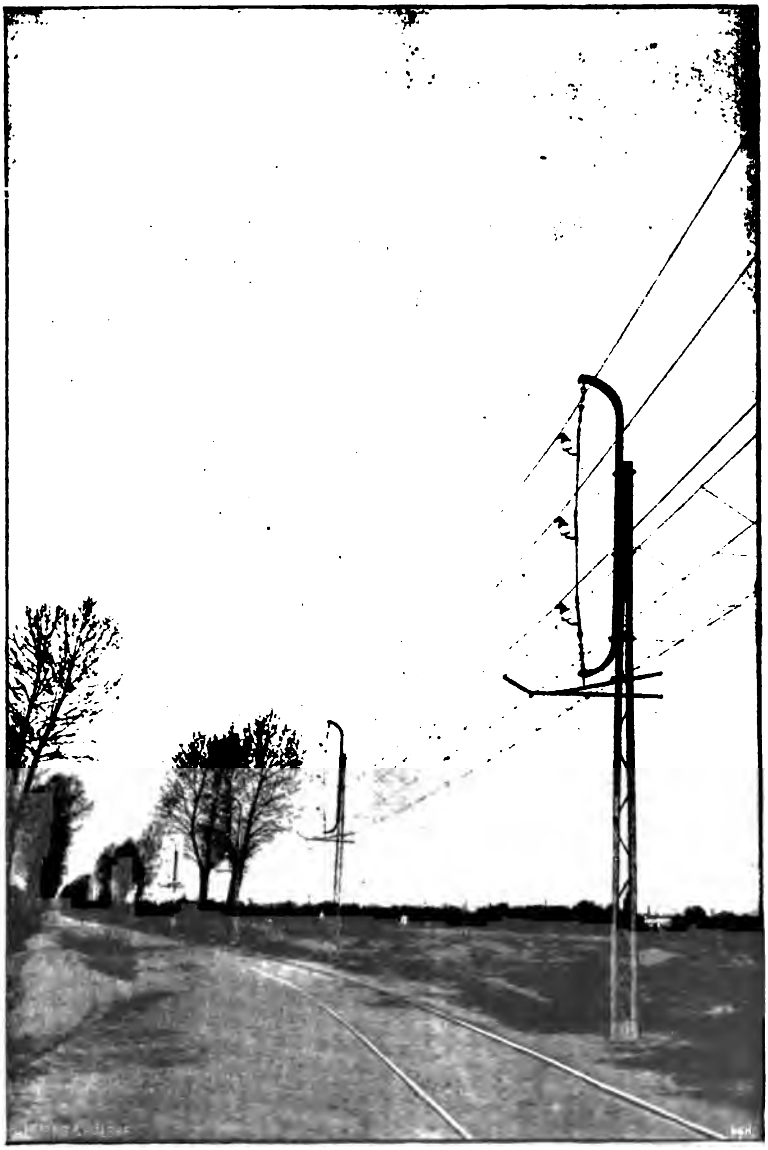


Fig. 21.

Lokomotive mit Stromabnehmer darunter hindurchfahren kann. Die Schleifstücke der Stromabnehmer, deren Drehung durch Anschläge begrenzt ist, schweben an dieser Stelle vollständig in der Luft, sodass Auflaufstellen für die Arbeitsleitungen geschaffen werden müssen. Zu diesem Zweck waren bei Kontakt von oben je an einem Mast der geraden durchlaufenden Strecke und am ersten Mast der seitlich abgehenden Strecke die Isolatoren so tief gesetzt, dass die Schleifstücke der Stromabnehmer in ihrer tiefsten Lage über die Isolatoren weggingen und erst allmählich auf den wenig ansteigenden Fahrdrähten zum Kontakt kamen. Dieses leichte Ansteigen der Fahrdrähte giebt geringen Stoss beim Auflauf. Die Isolatoren müssen bei Kontakt von oben hier tiefer liegen, wie der tiefste Durchhang der Oberleitung an irgend einer Stelle der geraden Strecke, bei Seitenkontakt von der Gleismitte seitlich genügenden Abstand haben. Bei Seitenkontakt wird die Weiche noch einfacher, weil die Arbeitsleitungen für die gerade Strecke glatt durchlaufen können und nur der erste in der Weiche selbst stehende Mast soweit zurückgesetzt werden muss, dass die von ihm ausgehenden nach dem nächsten Mast führenden Fahrleitungen nicht parallel zur Gleismitte laufen, sondern einen bestimmten Winkel mit der Gleismittellinie bilden. Auf der sanften Neigung laufen die Bügel, die während des Befahrens der Weiche senkrecht zur Fahrtrichtung stehen, auch bei grösserer Geschwindigkeit stosslos auf.

Die Strecke kann an dieser Stelle natürlich nicht mit Strom, sondern nur mit lebendiger Kraft durchfahren werden; die Stellung des Stromabnehmers hierbei ist durch Fig. 22 und 23 erläutert.

Für die gesamte Strecke waren seitens der Gemeinde Schutznetze vorgeschrieben, die verhindern sollten, dass beim etwaigen Bruch einer Leitung diese auf die Erde fällt. Sie bestehen aus vier parallelen 5 *mm* starken verzinkten Stahldrähten, die auf eisernen Auslegern an den Masten befestigt sind. Die Längsdrähte sind in Abständen von 1,5 *m* durch Querdrähte aus 4 *mm* starkem Stahldraht miteinander und durch die Ausleger mit den eisernen Masten leitend verbunden.

Zur Sicherung gegen Blitzgefahr sind endlich noch in die Oberleitung Hörnerblitzableiter, je einer in jeder Phase, induktionsfrei eingeschaltet.

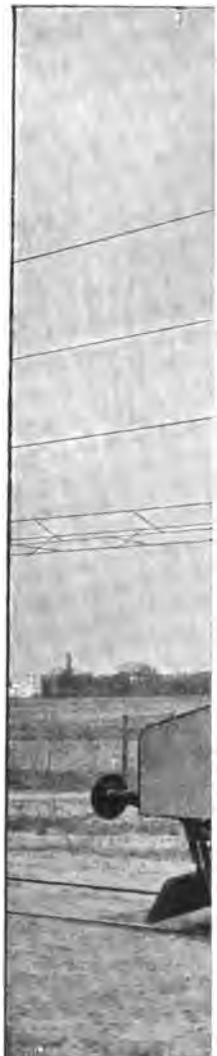
Die Stromabnehmer bestanden zuerst für Kontakt von oben aus kräftigen Aluminiumstücken, die um eine wagerechte Achse drehbar und an einem eisernen Rohre befestigt sind. Die Schleifstücke können in einer zu den Fahrdrähten senkrechten Ebene schwingen und werden durch eine Feder gegen den Draht angepresst. Die Drehpunkte der Schleifstücke sind, um gleich grosse Ausschläge

zu geben, entsprechend den drei Fahrdrähten versetzt. Die Bügel sind gleich lang. Zur thunlichst gleichmässigen Abnutzung der Schleifbügel war die Leitung im Zickzack (200 *mm*) verlegt, und



Fig. 22.

zur Verminderung starker Funkenbildung bei grösserer Geschwindigkeit und namentlich um die nachfolgenden Messungen sicher ausführen zu können, waren je zwei Stromabnehmer an die Lokomotive angesetzt.



Schiemann, Bahnen II.

Auf die Lokomotive wurde dann später ein eiserner Oberkasten, in dem auch die Transformatoren Platz fanden, aufgesetzt und sie erhielt das Aussehen nach Fig. 24 und eine Ausrüstung gemäss folgender Beschreibung.

Das Untergestell der Lokomotive ist von einem gewöhnlichen zweiachsigen Plattformwagen für Vollbahnen mit normaler Zug- und Stossvorrichtung, durchgehender Zugstange entnommen und ganz aus Eisen gebaut. Die Handspindelbremse ist eine doppelseitige Klotzbremse mit Stahlgussschuhen, welche auch mit Druckluft bethätigt werden kann. Der Durchmesser der Laufräder beträgt 1000 *mm*, der Radabstand 2800 *mm*, die Länge der Plattform 4000 *mm*, die Breite der Plattform 2200 *mm*, die Gesamtlänge mit Puffern 6300 *mm*, die Höhe der Plattform 1200 *mm*. Das Untergestell ist durch die Räder gut leitend mit den Schienen verbunden. Zwischen Achsgabeln und Achsbuchsen sind noch besondere Verbindungsleitungen angebracht.

In dem aus kräftigem Eisenblech ausgeführten Oberkasten liegt der Führerstand von 1,3 *m* Länge in der Mitte mit offenen Seitenthüren versehen. Beide Stirnwände desselben sind verglast und unterhalb der Brüstung durch eiserne Thüren von den beiden Räumen für Transformatoren, Motorkompressor, Widerstandsschalter und Hochspannungsausschalter abgetrennt. Zum Aufsteigen auf die Lokomotive dienen ein Fusstritt und zwei Handgriffe. Um beim Aufsteigen gegen Potentialdifferenzen gesichert zu sein, ist der Fusstritt und der erste Handgriff von der Lokomotive und dem Untergestell durch Porzellanisolatoren vollständig isoliert. Dies hat den Vorteil, dass, falls durch irgend welche Umstände die Erde, von welcher aus die Lokomotive bestiegen wird, und letztere selbst verschiedenes Potential haben sollten, dieses für den Einsteigenden vollständig unschädlich gemacht ist, da er von dem Potential der Erde auf den isolierten Tritt und erst von diesem wieder auf das Potential der Lokomotive kommt. Der Boden der Lokomotive ist mit gut geerdetem Blech belegt. Desgleichen sind alle im Wagen befindlichen Gehäuse und Gestelle von Apparaten gut geerdet. Die Erdung aller der für gewöhnlich keine Spannung führenden Teile war zu dem Zwecke vorgesehen, dass durch gutes Erden keine für die beim Versuche Beteiligten gefährlichen Spannungen auftreten können, selbst wenn einige dieser Apparate durch Isolationsfehler Spannung erhalten sollten; in diesem Falle kann nur Kurzschluss eintreten.

Zum Schutz gegen im Wege liegende Gegenstände sind an der Lokomotive zwei Bahnräumer angebracht.

Das Gewicht der vollständig ausgerüsteten Lokomotive betrug mit Motoren, Luftkompressor, drei Stromabnehmern und Anlasswiderständen 16000 *kg*.

Die Lokomotive ist mit zwei Drehstrommotoren c. D. M. 20/35 ausgerüstet, einem auf jeder Achse für 650 Volt bis 850 Volt 30 PS normaler und 120 PS Höchstleistung bei 650 Volt.

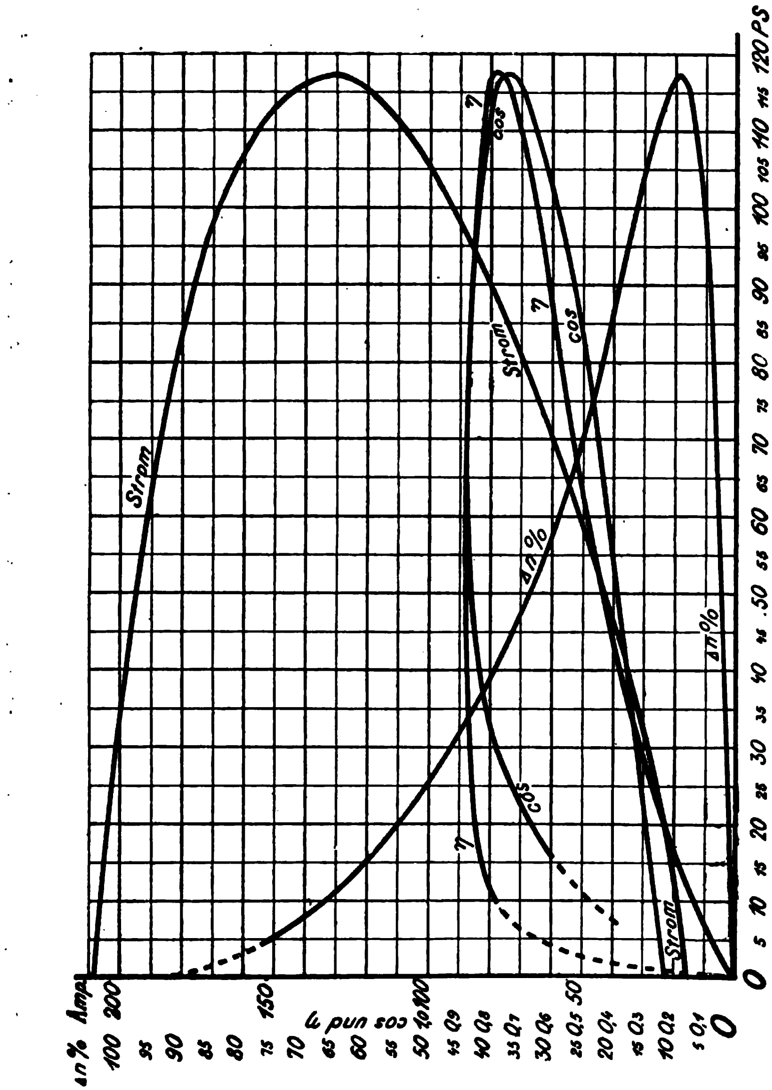


Fig. 25.

Die Zuführungsleitungen gehen zu dem festen Teile. Der bewegliche Teil ist ein Stabanker, mit Schleifringen und Lüftung ausgerüstet. Die Luft zwischen dem beweglichen und dem festen Teile beträgt 1,5 *mm*. Die Kurven des Motors Fig. 25 geben Aufschluss

über sein Verhalten. Nach denselben ist der höchste Wirkungsgrad 88,5 %, der höchste Leistungsfaktor 0,87, die höchste Leistung bei 650 Volt 120 PS für den Motor. Diese erhöht sich bei 850 Volt auf 200 PS für den Motor. Bei normaler Leistung ist der Wirkungsgrad 87 %, cos $\varphi = 0{,}79$, der Drehzahlabfall 1,5 %, das normale Drehmoment beträgt 21,6 *kgm*, das höchste Drehmoment 96 *kgm*. Die Kurven zeigen, wie die Leistung von einem gewissen Punkte wieder kleiner wird, was von dem immer grösser werdenden Drehzahlabfall und dem Drehmomente, das in einem ganz bestimmten Punkte seinen Höhepunkt erreicht und dann wieder kleiner wird, herrührt. Wenn der Motor so stark belastet wird, dass er sein höchstes Moment erreicht hat, und die Belastung wird noch grösser, so fällt er ab und bleibt endlich stehen. Das Moment ist in diesem Falle gering, und ein Wiederanlaufen wird nur durch ein Rückwärtsgehen mit der Schaltkurbel und Einschalten des Widerstandes in den beweglichen Teil erreicht.

Das Motorgehäuse ist aus Gusseisen, das wirksame Magneteisen aus Blechen hergestellt. Die Motoren sind wie Gleichstrommotoren für Strassenbahnen in das Untergestell mit doppelten Federn eingehängt und können um die Achsen als Drehachsen schwingen. Zur Veränderung der Geschwindigkeit sind zwei Zahnräderpaare vorhanden mit den Übersetzungen 1 : 4,65 für 40 *km* Geschwindigkeit und 1 : 3,15 für 60 *km* Geschwindigkeit in der Stunde.

Für das Fahren mit 750, 2000 und 10 000 Volt wurden dieselben Motorgestelle und dieselben umlaufenden Teile verwendet, nur wurden für das Betreiben der Motoren unmittelbar mit 2000 Volt die festen Teile ausgewechselt. Wie aus dem Stromschema (Fig. 27) ersichtlich ist, wird für das Ein- und Ausschalten und Anlassen der Motoren ein für 750 Volt gebauter Fahrschalter benutzt; derselbe ist in seinem Innern mit einer Schaltwalze für die Umkehrung der Fahrtrichtung und mit einer Fahrwalze versehen, welche das Ein- und Ausschalten des festen Teils der Motoren besorgt. Die Fahrwalze ist durch zwei Kettentriebe mit den Anlassern für die rotierenden Teile der Motoren mechanisch gekuppelt. Dreht man die Fahrwalze vorwärts, so wird daher gleichzeitig der Anlasser Stufe für Stufe herausgenommen. Beim Fahren mit 750 Volt steht der Fahrschalter direkt mit den Oberleitungsstromabnehmern, beim Fahren mit 10 000 Volt dagegen durch Vermittelung des Transformators von 10 000 Volt auf 750 Volt und eines Hochspannungs-Hauptausschalters von 10 000 Volt in Verbindung. Bei den Versuchen mit 2000 Volt können die Zuführungsleitungen zu dem primären Teil der Motoren von dem Fahrschalter abgeklemmt und das Einschalten für Vorwärtsfahrt durch den Hochspannungs-Hauptausschalter und für Rückwärts-

fahrt durch einen zweiten ebensolchen Haupthilfsausschalter jedoch ohne Benutzung des Transformators besorgt werden. Die Kontakte



Fig. 26.

des Fahrschalters sind dann stromlos, sodass derselbe nur zur mechanischen Bewegung der Anlassvorrichtung dient. Die Umkehr-

walze des Fahrschalters ist so eingerichtet, dass bei Verwendung von Zusatztransformatoren (z. B. bei 10 000 Volt) verschiedene Spannung abgenommen werden kann. Das hat den Zweck, beim

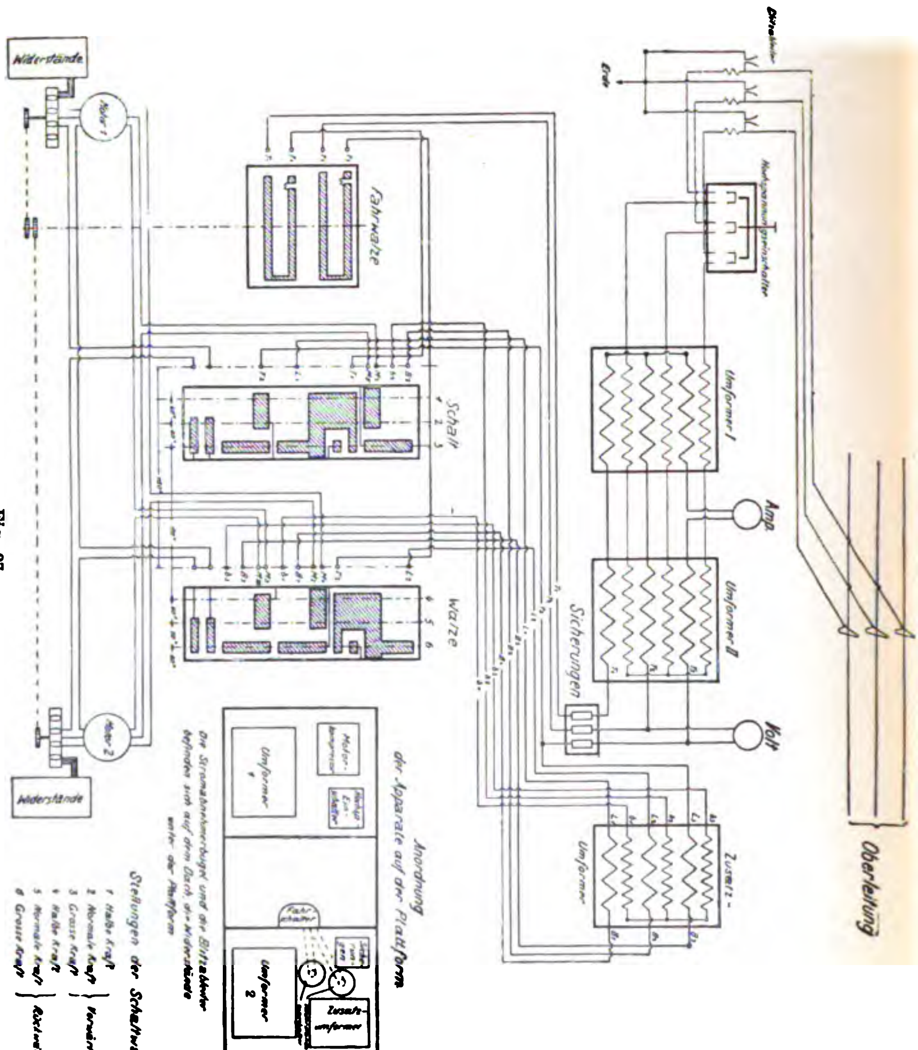


Fig. 27.

Anfahren durch höhere Spannung (850 Volt) grössere Zugkräfte zu erzielen, als bei normaler Fahrt mit geringerer Spannung (650 Volt). Die Umkehrwalze enthält endlich noch Stellungen, bei welchen nur zwei Phasen eingeschaltet sind, die Fahrgeschwindigkeit also auf die

Hälfte vermindert werden kann. Zum Anlassen und Regeln waren nur acht Stufen erforderlich. Die Anlasser waren vollständig voneinander getrennt, um ein leichtes Abschalten jedes Motors zu ermöglichen und etwaige Ungleichheiten im Synchronismus der Motoren bei nicht übereinstimmenden Laufraddurchmessern zu vermeiden. Anlasser, Fahrschalter und Hochspannungsausschalter haben sämtlich geerdete Gestelle und sind ausserdem mit eisernen Schutzkästen umkleidet. Der Fahrschalter ist in der Mitte der Lokomotive an einer der beiden eisernen Stirnwände angeschraubt und hat ein starkes eisernes Gehäuse. Der Hochspannungsausschalter dagegen ist ausserhalb des Führerstandes an dem überdachten Raume für den einen Transformator und die Anlasser in dem entsprechenden Raume für den anderen Transformator untergebracht (Fig. 26). Der Hochspannungsausschalter ist mit Röhrenfunkenlöschung, der Fahrschalter mit magnetischer Funkenlöschung und Abriss der einzelnen Phasen nacheinander versehen. Die Verbindungsleitungen zwischen Fahrschalter, Anlasswiderständen und Motoren sind sämtlich auf das sorgfältigste isoliert, sodass sie bis 4000 Volt aushalten und sind zur Sicherheit gegen mechanische Beschädigung und Durchscheuern noch mit kräftigen Gummischläuchen von 6 *mm* Wandstärke überzogen. Die Leitungen zwischen den Stromabnehmern und Transformatoren sind mit einem stärkeren Eisenrohre überzogen und vollkommen gegen Berührung, sowie äussere Einflüsse geschützt.

Die Widerstände sind gewöhnliche Packetwiderstände, unterhalb des Wagenfussbodens aufgehängt und durch Schutzkästen gegen Feuchtigkeit und Staub geschützt. Ihre Lage ist in der Nähe der Anlasser gewählt, damit die Verbindungsleitungen möglichst kurz werden. In dem Mittelspannungsstromkreise ist für jede der drei Leitungen je eine Sicherung eingefügt; für den Hochspannungsstromkreis sind auf dem Fahrzeuge keine solchen angeordnet, da sich nur ein Fahrzeug auf der Strecke befindet und daher die Sicherungen in der Kraftstation genügen. Dagegen ist auch auf der Lokomotive für jede Phase je ein Blitzableiter angeordnet. In je einem Kasten mit Glasscheiben ist ein Spannungszeiger und ein Stromzeiger derart angebracht, dass eine Berührung ausgeschlossen ist. Die Instrumente dienen hauptsächlich zur Messung der Stromstärken und Spannungen beim Anfahren.

Die Transformatoren, eingerichtet zur Übertragung von 10000 Volt auf 750 Volt, sind, wie schon erwähnt, in den überdachten Hohlräumen untergebracht, welche zwischen den Stirnwänden des Führerstandes und den Puffern gebildet sind. Sie sind ohne weiteres für den Führer nicht zugänglich. Soll an denselben eine Instandsetzung

vorgenommen werden, so lässt sich mit Leichtigkeit nach Lösen einiger Schrauben das gewölbte Überdachungsblech anheben und jede Transformatorspule ausbauen. Der Nullpunkt des Transformators und sein ganzes Gestell ist geerdet.

Zur Erzeugung der Druckluft dient ein Motorkompressor.

Mit den vorstehend beschriebenen Einrichtungen wurden die Vorversuche im Sommer und Herbst 1899 und die endgiltigen Versuche im Frühjahr 1900 nach erfolgtem Umbau der Leitungen und der Lokomotive in erschöpfender Weise angestellt. Ausser in der Bestätigung der bereits bekannten Eigenschaften der Drehstrommotoren gipfeln bei den Versuchen die erzielten Erfolge in erster Linie darin, dass es gelungen ist, die zum Betriebe der Fahrzeuge erforderliche elektrische Energie bei einer Hochspannung von 2000 bis 10000 Volt von den Fahrleitungen abzunehmen und entweder unmittelbar oder umgewandelt den Motoren zuzuführen. Die getroffenen Einrichtungen erwiesen sich hierbei als unbedingt zuverlässig und dürfen als Richtschnur für die weitere konstruktive Thätigkeit angesehen werden. Das Endergebnis der angestellten Beobachtungen für das Betriebsmittel ist kurz folgendes:

Das Anfahren der Maschine auf 60 *km* Geschwindigkeit bei 30 *t* Last erfolgte in 60 Sekunden mit 700 Volt Spannung und 190 Amp. Stromstärke. Die Anfahrzeit der Maschine allein bei einer Geschwindigkeit von 40 *km* in der Stunde betrug 14 Sekunden bei 640 Volt und 180 Amp., bei einer Geschwindigkeit von 60 *km* in der Stunde 30 Sekunden. Bei Fahrt mit 30 *t* Zuglast und 60 *km* in der Stunde verbrauchte die Maschine 70 Amp., 700 Volt, $\cos \varphi = 0{,}8$. Die Anzugskraft ändert sich, wie bekannt, mit dem Quadrat der Spannung. Daher kann durch Steigerung der Spannung im Motorstromkreise von 670 Volt auf 950 Volt die Anzugskraft auf das Doppelte der Anzugskraft bei normaler Spannung gebracht werden. Durch Anwendung von Transformatoren (Betrieb mit 10000 Volt) auf den Betriebsmitteln lässt sich dies durch Zuschalten von Wickelungsabteilungen derselben ganz leicht erreichen. Es werden alsdann Drehmomente erzeugt, die bis zu zehnmal so hoch sind, als die bei normaler Fahrt zu entwickelnden. Die Geschwindigkeitsregulierung kann erreicht werden:

1. durch Einschalten von Widerstand in den sekundären Teil; dies bedingt Energieverlust,
2. durch Unterbrechung einer Leitung zum sekundären Teile,
3. durch Kaskadenschaltung.

Bei der zweiten Methode hat der Motor eine etwas kleinere maximale Zugkraft, die Leistung wird entsprechend der halben Drehzahl kleiner; Wirkungsgrad und $\cos \varphi$ werden kleiner, aber jeden-

falls ist die Methode bedeutend besser als die Widerstandsregulierung. Das gleiche gilt von der Kaskadenschaltung, bei welcher aber die Zugkraft auf die Hälfte und die Leistung auf den vierten Teil sinkt.

Damit die Motoren gut in Parallelschaltung arbeiten, dürfen grössere Unterschiede in dem Durchmesser der Laufräder als 0,5 % nicht vorhanden sein.

Eine bremsende Wirkung der Motoren bei Verminderung der Wechselzahl der Kraftstätte durch Feldstärkung der Antriebsmotoren wurde erzielt, desgleichen wurde beim Bergabfahren rückwärts Strom in die Akkumulatorenbatterie abgegeben. Eine Bremsung mit Gegenstrom als Gefahrbremse ist möglich, erfordert aber Nachregulieren der Widerstände unter Beobachtung des Stromzeigers, grosse Widerstände und grossen Arbeitsaufwand. Sie ist unsicher, wenn eine Leitung unterbrochen ist, da dann die Lokomotive mit Wechselstrom in gleicher Richtung weiter läuft.

Die getroffenen Sicherheitsmassregeln, nämlich das stets durchgeführte Erden sämtlicher Teile und Gehäuse von Apparaten, die der Berührung ausgesetzt sind, gewährt einen sicheren Schutz.

Die Versuche mit den beschriebenen Leitungsanordnungen bei Kontakt von oben und Seitenkontakt entschieden zu Gunsten des letzteren. Es zeigte sich nämlich, dass bei Kontakt von oben die Anordnung von Stromabnehmern und Leitungen zwar für die Geschwindigkeiten bis 60 *km* noch verwendbar ist, aber doch der Kontaktbügel das Bestreben hat, an den Höhenpunkten der Leitungen abzuspringen, wodurch bei noch grösseren Geschwindigkeiten jedenfalls starke Funkenbildungen und unsicherer Kontakt auftreten würden. Ferner können die Stromabnehmer nicht in einfacher Weise von der Leitung abgezogen werden und Überführungen, Stationen u. s. w. müssen so hoch sein, dass die Stromabnehmer frei darunter hindurchgleiten können. Anderseits aber brauchen sie beim Wechseln der Fahrtrichtung nicht umgelegt zu werden und ihr Kontakt ist vom Luftwiderstand während der Fahrt unbeeinflusst. Bei dem Systeme des Seitenschleifkontaktes aber sind die Leitungen an dem senkrechten Zugorgane nachgiebig befestigt, sodass sie nicht bloss zwischen, sondern auch an den Aufhängungsstellen dem Seitendrucke der Stromabnehmer etwas nachgeben können, was einen dauernd sicheren Kontakt ermöglicht. Die das stetige Gleiten störenden Durchhänge liegen nicht in der Kontaktrichtung, sondern rechtwinkelig dazu, hindern also ein gleichmässiges Anliegen der Stromabnehmer nicht und bewirken ausserdem eine gleichmässige Abnutzung der Schleifstücke. Die Stromabnehmer lassen sich mittels einer geeigneten Vorrichtung leicht von den Leitungen abziehen, daher hat sich auch diese Art der Stromabnahme sehr gut bei den Versuchen bewährt

und scheint auch schon deshalb für Fernbahnbetrieb sehr geeignet zu sein, weil bei zweigleisiger Strecke nur Maste in der Mitte ohne lange Ausleger erforderlich sind. Es lassen sich ausserdem mit Leichtigkeit Kurzschlussvorrichtungen anbringen, welche beim Reissen von Leitungen diese an Erde legen, bevor sie herabgefallen sind und dadurch Schutznetze überflüssig machen.

Sollten solche verlangt werden, so ist ihre Anbringung bei dem Schleifkontakte trotzdem leicht möglich. Endlich werden, was mit die Hauptsache ist, Weichen und Kurven infolge der senkrechten Lage der Leitungen übereinander ausserordentlich einfach.

Während der Fahrten mit 10 000 Volt zeigten die Stromabnehmer ein besseres Verhalten als bei niedriger Spannung. Es traten zwar hin und wieder infolge des schlechten Oberbaues und des kurzen Radstandes der zweiachsigen Maschine Kontaktunterbrechungen auf, dieselben waren aber unbedeutend und unschädlich, da ja die Stromstärke sehr niedrig ist.

Mit der Lösung der Aufgabe, eine geeignete Leitungsanordnung und Stromabnehmereinrichtung, sowie eine geeignete Ausrüstung der Betriebsmittel für den Betrieb von Fernbahnen mit Hochspannung zu finden, ist die Verwirklichung einer geplanten Ausführung bedeutend erleichtert und der Zeitpunkt einer solchen näher gerückt.

Die Firma Ganz & Co. Budapest hat auf der Altofener Donau-Insel ebenfalls eine Hochspannungsprobebahn für 3000 Volt errichtet, an welcher ähnliche Versuche angestellt worden sind, wie bei der soeben beschriebenen Strecke. Ausrüstung des Wagens und der Stromleitung ist aus Fig. 28 ersichtlich.

Der Motorwagen, der auf der Probebahn verkehrt, ist ein Truck mit zwei Räderpaaren eines gewöhnlichen Motorwagens der Valtellina-Bahn. Ein provisorischer Wagenkasten wurde auf dem Truck montiert. Der Wagen ist den wirklichen Verhältnissen entsprechend mit Ballast beladen, sodass die zwei Motoren immer eine der Wirklichkeit entsprechende Zugkraft auszuüben haben. Die Oberleitung ist zweipolig, desgleichen die Bügel, welche durch je ein Isolationsstück in der Mitte der Schleiffläche zur Abnahme des Stromes geeignet sind.

Beide Ausführungen (Siemens & Halske und Ganz & Co.) haben bewiesen, dass Hochspannung für den Betrieb elektrischer Bahnen direkt anwendbar ist.

Das Misstrauen des grossen Publikums und bis zu einem gewissen Grade selbst der Fachleute gegenüber der Elektrizität und insbesondere gegenüber der lebensgefährlichen Elektrizität, muss auf die Rätselhaftigkeit des Blitzschlages und auf die vollkommene Unberechenbarkeit seines Weges zurückgeführt werden.

Gewissermassen dieser Naturerscheinung ähnliche, ebenso rätselhafte Phänomene treten manchmal auf, wenn zufolge eines Isolationsfehlers der Strom durch schwachleitende Gegenstände, wie z. B. feuchtes Holz, oder Mauer, oder mit Wasser befeuchtetem faserigen Materiale (Stoffe, Strick) seinen Weg nimmt.



Fig. 28.

In solchen Fällen kann man elektrische Schläge auch durch die Berührung solcher Gegenstände erhalten, welche entweder selbst Nichtleiter sind oder wenigstens anscheinend mit der Kontaktleitung in keiner leitenden Verbindung stehen. Solche Schläge können den Menschen ganz ahnungslos treffen und sind gerade deshalb gefährlich. Ein solches Umherstreifen der Elektrizität wird dadurch verursacht, dass der betreffende Gegenstand entweder selbst ein schlechter Leiter ist oder aber mit der Erde in schlecht leitender Verbindung ist. Denn die Erde, dieser grosse Kondensator, lässt, wenn sie einmal mit

irgend einem elektrischen stromführenden Gegenstand in gutleitenden Kontakt gerät, die elektrische Ladung — sei es auch die grösste praktisch erzeugbare Elektrizitätsmenge — sofort in sich selbst verschwinden.

Wenn wir demnach einen Gegenstand mit der Erde in gut leitenden Kontakt zu bringen imstande sind, so haben wir dadurch unmöglich gemacht, dass derselbe elektrische Spannung erhalte und dadurch für das Menschenleben gefährlich werden könne.

Dies giebt uns den Schlüssel zur Lösung des Problems, Motoren und Apparate, welche mit hochgespanntem Strome gespeist werden, in Eisenbahnwagen unterzubringen und zwar derart, dass dieselben weder für das reisende Publikum, noch für das Betriebspersonal auch nur die geringste Gefahr in sich bergen. Dies ist nun in vollem Masse erreichbar, wenn wir die Hochspannung führenden Teile ausserhalb der dieselben umgebenden Isolierhülle noch mit einem ununterbrochenen und zwar guten Leiter, mit einer geschlossenen Metallhülle, verkleiden, welche an mehreren Stellen mit dem Untergestelle des Wagenkastens und auf diese Weise auch mit den Schienen leitend verbunden ist. Diese Sicherheitsvorrichtungen müssen sich ferner auch auf sämtliche Metallbestandteile des Wagens, insbesondere aber auch auf den Deckel des Wagenkastens, ausdehnen, dessen Metallhülle gleichfalls mit der Erde in leitende Verbindung gebracht werden muss. So lange nun die Isolation unverletzt ist, bietet schon diese allein vollkommen Schutz gegen die Wirkungen der hochgespannten Ströme. Die Metallhülle soll erst dann in Wirksamkeit treten, wenn die Isolation beschädigt wird und dadurch solche Bestandteile von hochgespanntem Strom durchflossen werden sollten, welche für die Fahrgäste oder für das Betriebspersonal zugänglich sind. In solchen Fällen dient nun die Metallhülle gewissermassen als ein »Blitzableiter«, durch welchen der Strom in das Untergestell geleitet wird und — da dasselbe mit der Erde in gut leitender Verbindung ist — ist es unmöglich, dass selbst im Falle eines Isolationsfehlers irgend ein den Fahrgästen oder dem Betriebspersonal zugänglicher Bestandteil hochgespannten Strom führen kann. Die gut leitende Verbindung des Wagendaches und sämtlicher übrigen Metallteile des Wagens mit den Rädern und demzufolge mit den Schienen bietet den in dem Wagen befindlichen Personen auch für den Fall, dass der Leitungsdraht der Linie reissen und auf den Wagen fallen sollte, vollkommen Sicherheit, denn zufolge der gut leitenden Verbindung der Metallhülle mit der Erde wird der betreffende schadhafte Teil der Leitung mit der Erde kurzgeschlossen, die nächste Bleisicherung schmilzt aus und der betreffende beschädigte Teil der Leitung wird hierdurch momentan und automatisch stromlos.

Nun fragt es sich, bis zu welcher Grenze ist es motiviert und der Mühe wert, die Spannung zu steigern?

Aus dem Vorhergegangenen haben wir bereits gesehen, dass das zur Leitung erforderliche Material bei Steigerung der Spannung sich verringert, woraus auch gefolgert werden kann, dass über eine gewisse Grenze die weiteren Materialersparnisse bei der Fahrleitung aufhören, da man unter einen gewissen Querschnitt des Drahtes schon aus Konstruktionsrücksichten nicht gehen kann.

Falls wir aber durch Steigerung der Spannung nicht die Verringerung des Querschnittes der Fahrleitung, sondern die Vergrösserung der Distanz zwischen den Transformatorstationen erreichen wollen, so müssen wir auch hierin eine gewisse Grenze einhalten, da sonst die voneinander unabhängigen Sektionen zu lang sein würden und man im Falle eventueller Reparaturen an der Leitung gezwungen wäre, zu lange Sektionen ausser Betrieb zu setzen. Die Speiseleitung der Transformator-Station (die Primärleitung) fällt nicht unter diese Gesichtspunkte, weil diese der durch den Kontaktapparat verursachten mechanischen Beanspruchung und Abnützung nicht unterworfen ist, deshalb also der Reparatur viel seltener bedarf.

Indessen sind diese durch Ausbesserung der Unterstations-Speiseleitungen verursachten Betriebsstörungen gänzlich eliminierbar, durch Teilung der Speiseleitung in zwei Teile, was bei der Fahrleitung aus Konstruktionsrücksichten nur schwer durchführbar wäre. Der Nachteil der kurzen Sektionen ist im Falle der Anwendung der Wechselstrom-Transformatoren nicht so gross, als bei Verwendung von Gleichstrom.

Wenn der maximale Stromstoss nur das 5- bis 6fache der durchschnittlichen Belastung ist, so ist es daran nicht der Mühe wert, die Spannung nur deshalb zu vermehren, dass wir mit der grösseren Entfernung der Transformator-Unterstationen untereinander diese Verhältniszahl herabmindern.

Die grossen Belastungsschwankungen der Generatoren der Centrale beeinflussen, wie bei den Gleichstrom-Centralen, die Kosten der Einrichtung und die Ökonomie des Betriebes ungünstig; Puffer-Batterien, wenn überhaupt verwendbar, erfordern komplizierte und kostspielige maschinelle Einrichtungen, deshalb soll die Spannung der Leitung zwischen der grossen stromerzeugenden Centrale und den Transformator-Stationen so gross sein, dass sie sämtliche Unterstationen der ganzen Linie speisen könne, damit die Stösse der Unterstationen sich untereinander ausgleichen und auf diese Weise eine womöglich gleichmässige Belastung erzielt werde.

Es ist hieraus ersichtlich, dass, während die Steigerung der Spannung der Fahrleitung behufs Verbesserung der Belastung bis

zur äusseren Grenze nicht begründet ist, im allgemeinen eine möglichst grosse Spannung der Centrale zur Speisung der Transformator-Unterstationen gewählt werden sollte.

Ein anderer Umstand, welcher bei der Wahl der Spannung der Fahrleitung in Betracht gezogen werden muss, ist die Frage der Kontaktvorrichtung resp. der durch Hilfe derselben abzunehmenden Stromstärke.

Im Falle der Anwendung von Gleichstrom ist es möglich, eine beliebige Stromstärke abzunehmen, da die entlang dem Bahnkörper gelegte dritte Schiene als Leitung dient und weil wir so viel Kontaktvorrichtungen entlang dem Zuge anbringen können, als der Zug Achsen hat.

Der einzige nicht rotierende Teil des Wagens, welcher auch an dem Spiel der Feder nicht Teil nimmt, ist das Lager, weshalb auch die Kontaktvorrichtung gewöhnlich darauf montiert wird.

Die Sache verhält sich anders, wenn der in der Luft gespannte Draht als Fahrdraht angewendet wird. In diesem Falle ist der Druck, welchen die Kontaktvorrichtung oder Vorrichtungen auf die Leitung ausüben, ein sehr beschränkter, da, falls die Kontaktvorrichtung von unten gegen den Draht gedrückt wird, wie z. B. bei der Probebahn der Firma Ganz & Co., darf der Gesamtdruck die Aufhängungen der Leitung nicht gänzlich entlasten, da dies gefährliches Schwingen des Drahtes verursachen würde.

Es ist zweckmässig, dass der Gesamtdruck, welchen man bei einem Draht von 8 *mm* anwendet, 8 bis 10 *kg* nicht überschreite. Dieser Umstand begrenzt die Zahl der bei einem Zuge anbringbaren Kontaktvorrichtungen, denn wenn der auf je eine Kontaktvorrichtung entfallende Druck zu klein ist, ist der Kontakt zwischen Draht und Stromabnehmer unsicher, denn infolge der Erschütterungen des Wagens verlässt die Kontaktvorrichtung hier und da den Draht, hämmert daran, und anstatt den anderen Kontaktvorrichtungen behilflich zu sein, hemmt sie das Funktionieren derselben.

Wir wollen nun untersuchen, wie viel Energie man bei einer gewissen Spannung von dem in der Strassenbahn-Praxis gebräuchlichen 8 *mm* Draht abnehmen kann.

Wenn die Spannung zwischen den beiden Drähten der Dreiphasen-Leitung E Volt, der Cosinus des Phasenverschiebungs-Winkels $\cos \varphi = 0{,}85$ und die Stromintensität J Ampère ist, so ist die der Leitung entnommene Energie

$$\sqrt{3}\ \mathrm{E\ J}\ 0{,}85 = 1{,}47\ \mathrm{E\ J\ Watt.}$$

Wenn wir den Wirkungsgrad des Motors mit 90% annehmen, so ist die Arbeitsleistung des Motors

$$\frac{1{,}47 \cdot 0{,}9}{736}\ \mathrm{E\ J} = 0{,}0018\ \mathrm{E\ J\ HP.}$$

Die maximale Stromstärke, welche dem Fahrdrahte entnommen werden kann, ist nach Coloman von Kandó ein stossweises Maximum von 500 Ampère auf der Strecke von Pemberton der Linie Nantasket der New York—New Haven—Hartford-Bahn. Dies verursacht jedoch bereits ein Funkensprühen und zieht eine rasche Abnützung der Kontaktrolle nach sich. Ein anderer Fall ereignete sich bei der Detroit Mount-Clement Bahn, wo der dem Fahrdrahte entnommene Strom bei tadelloser Funktion des Wagenkontaktes wiederholt bis auf 300 Ampère stieg.

Wenn wir das Maximum der vom Fahrdrahte abnehmbaren Stromstärke mit J = 300 Ampère annehmen, so beträgt die dem Fahrdrahte entnommene maximale Arbeitsleistung als Funktion der Spannung (für einen Stromabnehmer)

$$0{,}0018 \cdot 300 \cdot E = 0.54\ E\ HP$$

bei 1000 Volt rund 500 HP
» 2000 » » 1000 »
» 3000 » » 1500 »
» 5000 » » 2500 »

Wie wir sehen entspricht vom Standpunkte der Stromabnahme bereits eine Fahrspannung von ca. 3000 Volt den Verhältnissen der heutigen Vollbahn-Traktion.

Bisher haben wir untersucht, bis zu welcher Grenze die Erhöhung der Spannung begründet werden kann. Welches sind nun die Nachteile der über diese Grenze gehenden Erhöhung der Spannung? Der Referent der Ganz'schen Studien über diesen Gegenstand, Kandó, kommt zu dem Schluss, dass die Schwierigkeiten der praktischen Ausführung, hauptsächlich aber die einer entsprechenden Konstruktion, für die Isolation sowohl im Motor wie in den Apparaten die Grenze bestimmen. In Fig. 29à, b, c sehen wir das Profil einer Armatur-Nute des Wechselstrommotors mit verschiedenen Spannungen entsprechenden Drahtbewickelungen. Die erste Nute hat für 500 Volt 4 Windungen mit einer Stange von 103,5 *mm* Querschnitt. Die zweite für 3000 Volt 24 Windungen mit Draht von 3 *mm* Durchmesser; die dritte für 10000 Volt 30 Windungen mit Draht von 0,8 *mm* Durchmesser. Die Isolierschicht, welche die Bewickelung von der Eisenkonstruktion des Motors trennt, ist der Spannung entsprechend verschieden stark. Die Draht-Isolation beträgt in den beiden ersten Fällen 1 *mm*, in letzterem Falle aber 0,8 *mm*.

Die Kupferquerschnitte, die in den Nuten untergebracht werden können, betragen 414, 170 und 40 *qmm*.

Während zwischen 500 und 3000 Volt bereits in der Ausnützung des Konstruktionsraumes ein bedeutender Unterschied ist, so ist nach Kandó die Konstruktion für 10000 Volt in diesem Falle ausser-

halb der Grenzen einer zweckmässigen Verwirklichung, wohingegen bei der heutigen Entwickelung der Fabrikation ohne jede Schwierigkeit Motoren mit 4 bis 5000 Volt gebaut werden können.

Es giebt eine Lösung, welche die Konstruktionsschwierigkeiten für den Motor und für die Apparate in der Weise umgeht, dass auf

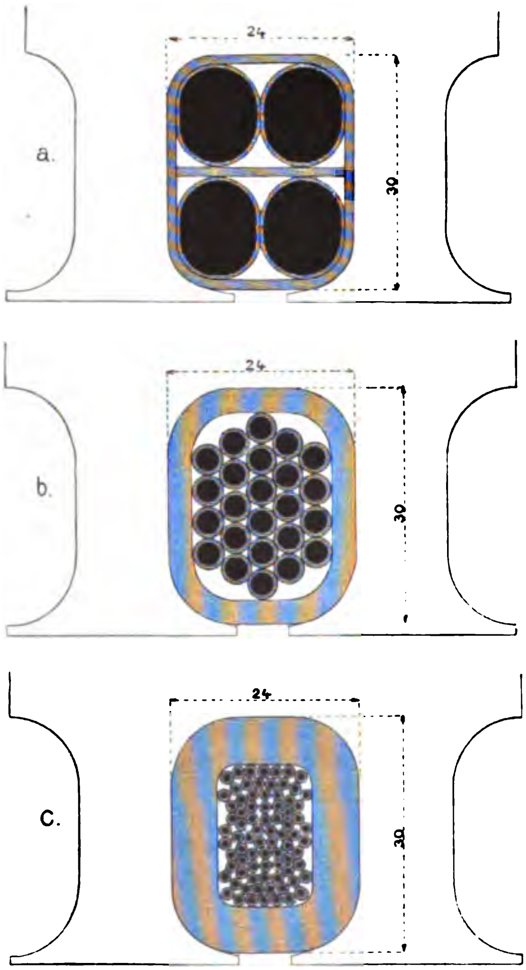


Fig. 29.

dem Zuge Transformatoren untergebracht werden, mittels welcher der von den Fahrdrähten entnommene Strom für die Motoren herabtransformiert wird. Mit dieser Umgehung der Hochspannungsfrage steht Kandó im Gegensatz zu den Siemens & Halske'schen Ansichten.

Die Praxis wird es zeigen, welche Zahlen auch hier wieder die theoretischen Bedenken hintanstellen werden

Noch ein weiterer Vorteil der Hochspannung für längere Bahnlinien ist der, dass auf den Stationen die verschiedenen Linienstrecken mit der Central-Weichenstellung und den Blocksignalen kombiniert, zur absoluten Blockierung der Station benützt werden können. An den beiden Enden der Station kann z. B. eine Linienstrecke von einigen hundert Metern mittels separater Ausschalter aus dem Stromkreis aus- und wieder einschaltbar und dabei derart mit dem Klinkenwerke des Central-Weichenstellers kombiniert sein, dass die blockierte Strecke nur dann einschaltbar ist, wenn zur Aus- und Einfahrt des Zuges die richtige Weichenstellung bereits erfolgte.

Die Ausführung dieser, in den komplizierteren Stationen etwas verwickelteren Leitungs-Einrichtung ist im Falle geringer Spannung, zufolge der Kosten der grossen Leitungs-Querschnitte, sowie der grossen, schwer handzuhabenden Ausschalter oft unmöglich oder aber nur mit hohen Kosten erreichbar, während bei Verwendung von Hochspannung die kleinen Stromintensitäten es ermöglichen, mit leichten und dünnen Luftleitungen, sowie mit einfacheren und somit billigeren Ausschaltern die Frage sicher und ökonomisch zu lösen.

Auf den blockierten Strecken kann zum plötzlichen Anhalten der Züge auf dem Motorwagen ein Apparat verwendet werden, welcher bei Stromunterbrechung, resp. bei Ankunft des Zuges auf stromloser Strecke, die Luftbremse automatisch in Thätigkeit setzt. Derselbe Apparat hält den Zug im Falle Drahtreissens oder aber Ausgleitens des Kontaktes gleichfalls automatisch an, wodurch vorgebeugt wird, dass der Zug, zufolge seiner lebendigen Kraft weiter laufend, die Leitung beschädige.

II.

Steilbahnen.

Unter diesen Begriff fallen alle diejenigen Bahnen, welche auf dem grössten Teile ihrer Trace derartige Steigungen aufweisen, dass die Adhäsion zwischen Rad und Schiene allein nicht genügt, um den Wagen fortzubewegen. Es sollen indes in diesem Kapitel auch diejenigen Hilfsmittel beschrieben werden, welche man bei elektrischem Betriebe anzuwenden pflegt, um den Wagen mittels bestimmter Schaltungen nutzbringend abzubremsen, d. h. diejenigen Hilfsmittel, welche die Wagenmotoren befähigen, als Dynamomaschinen Strom in das Netz zurückzuliefern, wenn die lebendige Kraft des im starken Gefälle befindlichen Wagens hierzu ausreicht. Dass diese Eigenschaft von den Drehstrommotoren ohne weiteres erfüllt wird, ist in dem vorigen Kapitel behandelt worden.

Auch die bei Steilbahnen benötigten Bremsen mit mechanischer und elektrischer Bethätigung müssen hier eingehend behandelt werden.

Wir können daher das Kapitel über Steilbahnen einteilen in:

1. Nebenschlussmotoren,
2. Bergbremsen,
3. Gebirgsbahnen mit Adhäsionsbetrieb,
4. Seilbahnen,
5. Zahnradbahnen.

Die beiden letzten Arten der Steilbahnen können als reine Seil- bezw. Zahnradbahnen ausgebildet sein oder sie können stellenweise mit Adhäsionsbetrieb gemischt vorkommen.

1. Nebenschlussmotoren.

Bei Bahnen mit grossen Gefällen liegt nichts näher, als die lebendige Kraft des bergabfahrenden Wagens bezw. Zuges wieder nutzbringend zu verwenden, anstatt totzubremsen. Der Gleichstrom-Nebenschlussmotor bietet hier mannigfache Vorzüge gegenüber dem sonst üblichen Reihenmotor und tritt in dieser Beziehung, neben dem bereits im vorigen Kapitel erwähnten Drehstrommotor, nur noch mit dem Luftdruckmotor in Konkurrenz. Ausser in der Nutzbremsung liegt noch in der Schonung des Bremsmaterials und der Radbandagen ein betriebstechnischer Vorteil. Um nun den Wagenmotor als Stromerzeuger für die erforderliche Betriebsspannung des Netzes benutzen

zu können, muss er ein Magnetfeld besitzen, welches vom Ankerstrom sowohl in der Stärke als auch in der Richtung unabhängig ist. Diese Forderung ist nur vom Nebenschlussmotor zu erfüllen, dessen Erregung vom Netz oder von besonderen Akkumulatoren erfolgt. Nebenschluss und Ankerwickelung können je durch einen Vorschaltwiderstand regulierbar sein, um bei jedem Gefälle mit beliebiger Geschwindigkeit fahren zu können.

Um die Fallarbeit und die dadurch wiedergewonnene Strommenge theoretisch berechnen zu können, kann auf die in der ETZ 1894, Heft 36, Seite 490, erschienene Abhandlung von Baumgardt verwiesen werden, welche als Resultat nachstehende Werte ergeben hat:

	Ampèrestunden für 1 *km* aus der Linie entnommen (Bergfahrt)	Ampèrestunden für 1 *km* in die Linie zurückgegeben (Thalfahrt)
Horizontal 1 : ∞	0,764	—
12,5‰	1,840	—
25 »	2,261	0,400
50 »	3,750	1,250
75 »	5,250	2,015
100 »	6,733	2,933

Diese Zahlen entspringen natürlich nur der theoretischen Berechnung und werden durch die Praxis je nach Lage der Verhältnisse, z. B. durch Kurven und Anfahrten, welche hier unberücksichtigt blieben, geringere Vorteile aufweisen. Immerhin kann man auf Stromwiedergewinnung Rücksicht nehmen, wenn lang andauernde Gefälle vorhanden sind.

Die hauptsächlichsten Einwendungen, welche man gegen den Nebenschlussmotor vorbringt, sind, dass die Wickelungen der Feldmagnetspulen nicht so gut isoliert werden können, wie beim Hauptschlussmotor, dass sie erheblich mehr Raum in Anspruch nehmen als die Spulen des letzteren und dass die grösseren Herstellungskosten des Nebenschlussmotors ins Gewicht fallen. Dagegen kann der Nebenschlussmotor derart angeordnet werden, dass er eine grössere Veränderung der Umlaufsgeschwindigkeit zulässt und, was besonders wichtig ist, das Drehmoment bei verschiedenen Geschwindigkeiten konstant erhält. Sein Wirkungsgrad kann bei kleiner Geschwindigkeit grösser als derjenige des Hauptschlussmotors gemacht werden. Rechnen wir hierzu den erwähnten Vorzug der Anteilnahme an der Stromerzeugung bei Abwärtsbewegung, so ergiebt die Anwendung des Nebenschlussmotors eine Verminderung des Energieverbrauches mit den daraus folgenden Vorteilen.

Wenn die Ampèrewindungen des Motors unverändert bleiben, kann keine Rückgewinnung von elektrischer Energie bei Fahrtverlangsamung oder Anhalten auf ebener Strecke eintreten, weil die elektromotorische Gegenkraft unter diesen Bedingungen nicht über die Klemmenspannung steigt.

Bei der Thalfahrt muss die Geschwindigkeit unter der Herrschaft des Wagenführers bleiben, was bei dem gewöhnlichen Nebenschlussmotor nicht möglich ist. Es folgt daraus, dass auf veränderte Schaltungsweisen Bedacht zu nehmen ist, wenn die Fahrtverlangsamung und die Geschwindigkeitsregulierung bei der Thalfahrt nicht durch die Bremse bewirkt werden soll.

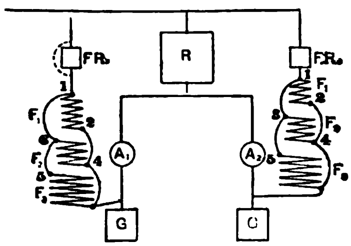


Fig. 30a.

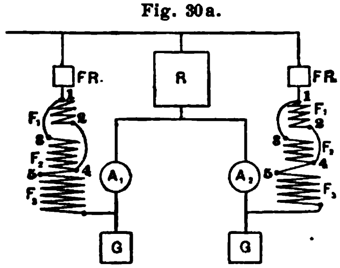


Fig. 30b.

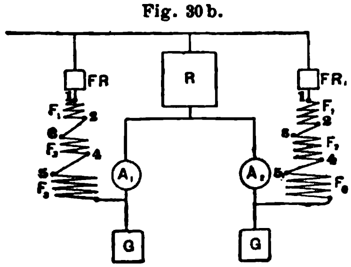


Fig. 30c.

Demzufolge muss das Feldmagnetsystem derart eingerichtet sein, dass die magnetisierende Kraft beliebig geändert werden kann, damit man dementsprechend bei unbeeinflusster Geschwindigkeit die elektromotorische Gegenkraft über die Klemmenspannung erhöhen kann. Diese Anordnung würde auch eine von der elektromotorischen Kraft unabhängige Änderung der Geschwindigkeit ermöglichen, so dass diese auf der ganzen Strecke konstant erhalten werden kann.

Zum gleichen Zwecke stehen verschiedene Mittel zu Gebote, welche allerdings insofern das gleiche Prinzip haben, als sie eine veränderliche Schaltung der Magnetspulen enthalten. Zwei derartige Methoden sind in den Fig. 30a, b, c und Fig. 31a, b angedeutet, von denen Fig. 30a, b, c zu der einen, und Fig. 31a und 31b zu der zweiten Methode gehören. Beide Methoden, welche indess nur auf theoretischen Grundsätzen basieren, sind von Baxter angegeben.

Bei der ersteren Anordnung sind die Feldmagnetspulen in drei Einzelspulen angeordnet, welche (Fig. 30a) unter Ausschaltung des Feldrheostaten FR parallel geschaltet werden oder (Fig. 30b) unter Einschaltung von FR zu zweien parallel, und diese Gruppe in Reihe mit der dritten Spule oder endlich (Fig. 30c) sämtlich in Reihe mit FR. Diese drei Schaltungen ermöglichen eine Abstufung der erregenden

Stromstärke, und so wird die Schaltung Fig. 30a den Höchst-, Fig. 30c den Kleinstwert der Ampèrewindungen bezeichnen. Durch die Ein- oder Ausschaltung von FR können noch Zwischenstufen geschaffen werden. Es ist dieses Verfahren für ein, zwei und mehr Betriebsmotoren anwendbar. Die Figuren zeigen die Anordnung für zwei Motoren, deren Anker A_1 und A_2 sind, mit dem gemeinsamen Anlasswiderstand R.

Die drei Spulen des Feldmagneten sind nicht gleich; vielmehr steigen von F_1 nach F_3 Widerstand und Windungen. Wären sie gleich, so würde der Sprung von Fig. 30a nach Fig. 30b grösser sein als der von Fig. 30b nach Fig. 30c. Denn setzt man die Windungszahlen jeder Spule gleich a, den Widerstand gleich w, so ist der

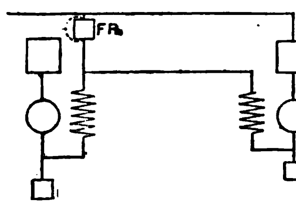


Fig. 31a.

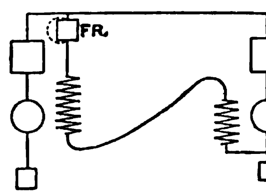


Fig. 31b.

Gesamtwiderstand in Fig. 30c gleich 3 w, also die Ampère-Windungszahl gleich $\frac{E}{3\,w} \times 3\,a = \frac{E\,a}{w}$. Im Falle der Fig. 30b ist der Gesamtwiderstand gleich $3\,\frac{w}{2}$, also die Stromstärke in $F_3 = 2\,\frac{E}{3\,w}$ und in jeder Spule F_1 und F_2 gleich der Hälfte dieses Betrages, demnach die Ampère-Windungszahl

$$a\,\frac{E}{3\,w} + a\,\frac{E}{3\,w} + a \times 2\,\frac{E}{3\,w} = 4\,a\,\frac{E}{w}.$$

Und endlich im dritten Falle (Fig. 30a) ist der Gesamtwiderstand $= \frac{w}{3}$, also die Ampère-Windungszahl $= 3\,a \times 3\,\frac{E}{w} = 9\,a\,\frac{E}{w}$.

Vermindert man den Widerstand der Spule F 3 und vergrössert ihre Windungszahl, so kann man bewirken, dass die Schaltung (Fig. 30b) eine solche Stufe ergiebt, dass die drei Schaltungen Ampère-Windungszahlen ergeben, welche in dem Verhältnis 1 : 2 : 3 stehen.

Aus dem Obigen ergiebt sich, dass die Abmessung der Spulen bei dem Nebenschlussmotor der gedachten Art erheblich grösser sein muss als bei den gewöhnlichen Nebenschlussmotoren, deren einzelne Spulen einen genügend starken Draht erhalten müssen, welcher mit der Stromstärke für die volle Spannung zwischen Fahrdraht und Erde belastet werden kann. Ausserdem muss auch der Querschnitt

des Feldmagnetes ein grösserer werden, damit bei grösster Ampère-Windungszahl keine Übersättigung eintritt.

Die zweite Methode ist in Fig. 31a und 31b dargestellt. Sie besteht in der Reihen- oder Parallelschaltung der Feldmagnetspulen zweier verbundener Nebenschlussmotoren; zu weiterer Abstufung dient auch hier der Feldwiderstand FR. Man erkennt aber, dass dieses Verfahren gegen das vorgenannte zurücksteht.

Ein weiterer Vorzug der hier vorgeschlagenen Nebenschlussanordnung findet sich in der grösseren Einfachheit der Schaltungs-

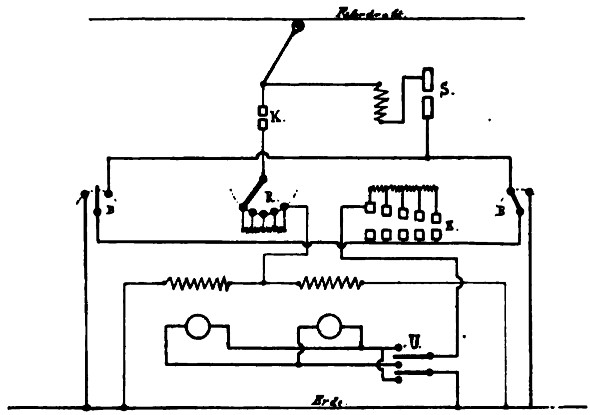


Fig. 32.

einrichtung und in den geringeren Anstrengungen der Unterbrechungskontakte, weil die Unterbrechung bei vergleichsweise schwacher Stromstärke stattfindet.

Das Kommutieren der Felder ist wegen der hohen Selbstinduktion in den dünndrähtigen Spulen ein Nachteil und vielleicht auch unausführbar. Wesentlich vereinfacht sich die Schaltung, wenn man die Feldmagnete nur durch Vorschaltwiderstände reguliert, wie dies z. B. von Siemens & Halske anfänglich angewandt worden ist. In dem in Fig. 32 angegebenen allgemeinen Schaltungsschema bedeutet S einen selbstthätigen Starkstromausschalter, B den Umschalter für die Bremsstellung, K einen Nebenschlusskohlenausschalter, R den Nebenschlussregulator, E den Ankerschalter, U den Ankerumschalter. Die Vereinigung der sämtlichen Schalthebel zu einem oder höchstens zwei Hebeln ist ohne weiteres durchführbar.

Es ist mehrfach behauptet worden, dass der Nebenschlussmotor, wenn er während der Fahrt kurze Stromunterbrechungen, z. B. durch unreine Schienen oder durch Streckenisolatoren, erfährt, infolge der auftretenden Unterbrechungs-Induktionsströme Isolationsdefekte aufzuweisen haben würde. Dies ist indess nicht der Fall, da der Strom

in der Erregerwickelung keineswegs verschwindet, weil sich der Nebenschlussmotor selbst erregt. Der am Unterbrecher auftretende Lichtbogen ist zudem bedeutend geringer, wenn man einen Nebenschlussmotor bei voller Last ausschaltet, als bei einem Reihenmotor. Die in der Feldwickelung entstehenden Nebenströme gleichen sich durch die Ankerwickelung, die bei abgeschaltetem Netzstrom mit jener einen geschlossenen Stromkreis bilden, aus.

Der allgemein herrschenden Ansicht, dass der Nebenschlussmotor seiner geringen Anzugskraft wegen sich für Bahnzwecke nicht eigne, muss ebenfalls entgegengetreten werden, da bei richtiger Wahl der Dimensionen die Ankerwindungszahl und die magnetische Induktion, die beiden für die Anzugskraft in Betracht kommenden Faktoren, genügend gross gewählt werden können.

Für Flachbahnen, bei denen eine Nutzbremsung durch Nebenschlussmotoren erzielt werden soll, ist die Stromwiedergewinnung zu unbedeutend, um als Betriebsvorteil gelten zu können. Die bremsende Wirkung des Nebenschlussmotors bei der Bergabfahrt und beim Anhalten stellt sich nur dann ein, wenn für den erzeugten Strom auch in jedem Augenblicke der entsprechende Konsum vorhanden ist. Ohne Vorhandensein von Akkumulatoren in der Station ist dies aber nicht immer der Fall; denn es könnte, zumal bei kleineren Anlagen, sehr wohl vorkommen, dass ausser dem bergabfahrenden Wagen alle anderen Wagen halten, sodass diese keinen Strom aufnehmen. Der bergabfahrende Wagen würde dann seine Geschwindigkeit nicht vermindern oder der anhaltende Wagen nicht zum Stehen gebracht werden können. Natürlich werden in jedem Falle mechanische oder auch noch elektromagnetische Bremsen am Wagen angebracht sein müssen.

Man hat mit Recht gefolgert, dass bei der Verwendung des Strassenbahnmotors als Bremse einzelne Teile der Wagenausrüstung, Kollektoren, Bürsten, Kontakte, Triebe u. s. w. leiden würden, die den Vorteil der Wiedergewinnung von Strom auch gänzlich illusorisch machen können.

Unter Hinweis auf einige Litteraturquellen, in denen die s. Z. viel ventilierte Frage über Anwendung der Nebenschlussmotoren im Bahnbetriebe eingehend behandelt wurde, z. B. ETZ 1897, Heft 9, Seite 130; Heft 18, Seite 259; Heft 21, Seite 299; Heft 25, Seite 356 und ETZ 1898, Heft 5, Seite 76, können wir folgendes Endresultat der vorstehenden Betrachtung hier anfügen:

Die Anwendung von Nebenschlussmotorwagen bei Strassenbahnen ist wohl möglich, mit Nebenschlussregulierung und unter vielen Vorsichtsmassregeln auch praktisch durchführbar; aber die Vorteile gegenüber Serienmotorwagen sind im allgemeinen zu gering, als

dass die mannigfachen Nachteile, insbesondere höhere Kosten für Reparatur und Instandhaltung, aufgewogen werden.

Dagegen kommt bei Steilbahnen der Vorteil der Energiewiedergewinnung durch Nebenschlussmotorwagen voll zur Geltung. Bei Nebenbahnen, woselbst im wesentlichen gleichmässige Geschwindigkeit gewünscht wird, wird der Nebenschlussmotor als Bahnmotor immer gute Dienste leisten.

2. Bergbahnbremsen.

Früher hat man bei denjenigen Steilbahnen, bei denen man für die Bergfahrt auf die Zahnstange verzichten konnte, für die Thalfahrt eine Zahnstange anwenden müssen, um die für Bremszwecke mangelnde Adhäsion zu ersetzen. Es wurden bekanntlich Zahnräder mit intensiv wirkenden, mechanisch bethätigten Bremsscheiben versehen und man erreichte dadurch eine genügende Sicherheit.

Bei Zahnradbahnen wird die Zahnstange sowohl für die Bergfahrt als auch für die Thalfahrt ausgenutzt. Man konnte für Seilbahnen erst auf die Zahnstange verzichten, nachdem die von Bucher und Durrer in Kaegiswyl angewandte Zangenbremse sich im Betriebe bewährt hatte. Dieselbe ist im wesentlichen ein umgekehrter Schraubstock, zwischen dessen Backen der Schienenkopf gepresst wird und dessen Schraubspindel von Hand oder durch die rotierende Achse des Wagens gedreht wird. Die Zangenbremse ist schematisch in Fig. 33 dargestellt und sind nähere Einzelheiten hierüber gelegentlich der Beschreibung der Stanserhorn-Bahn in der Z. d. V. d. Ing. veröffentlicht worden. Da der Schienenkopf trapezförmigen Querschnitt besitzt (vergl. Fig. 34, in welcher neben dem Querschnitt auch Längsansicht und Schienenstoss dargestellt sind), so wird durch die entsprechend geformten, nach unten zusammenlaufenden Klemmbackenflächen der Normaldruck des Wagens erhöht und dadurch die Adhäsion zwischen Rad und Schiene für Bremszwecke günstig vermehrt.

Bei steilen Bahnen mit Adhäsionsbetrieb, wo also für die Bergfahrt die Reibung zwischen Schiene und Rad noch ausreicht, verwendet man für die Thalfahrt Vorfallbremsen und erreicht dadurch zwar keine grössere Reibung, denn diese ist nur abhängig vom Material und dem Normaldruck, sondern schont nur die Radbandagen und die Schienen. Sobald nämlich festgebremste Räder, und diese kann man ohne weiteres mittels geeigneter Übersetzungen zum Feststellen bringen, mit ihren harten Flächen auf dem zumeist noch härteren Schienenmaterial schleifen, erhalten die Bandagen flache Stellen und werden unrund. Durch Unterschieben eines Auflaufklotzes (Fig. 35) setzt man zunächst die Räder still; das Rad

schiebt den Klotz mit der lebendigen Kraft des Wagens vorwärts, und die grossen Berührungsflächen (Unterkante Schleifklotz und

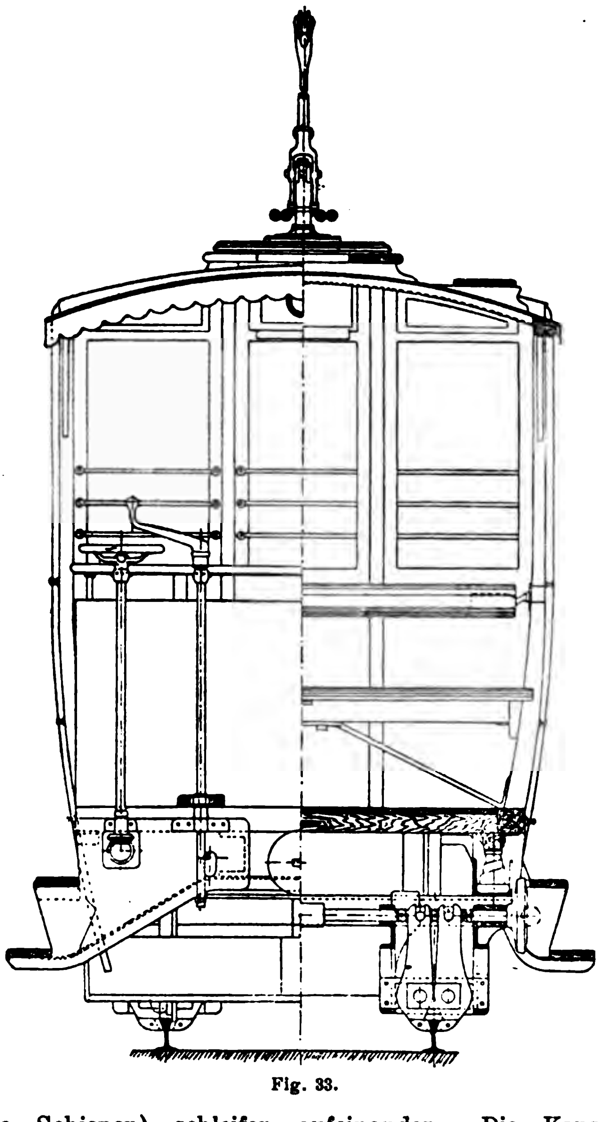


Fig. 33.

Oberkante Schienen) schleifen aufeinander. Die Konstruktionsschwierigkeit dieser Vorfallbremsen liegt in der geeigneten Wahl des Materials für die sehr spitz auslaufende Zunge. Die von der Union Elektrizitäts-Gesellschaft Berlin für die Chausseebahn Dresden —

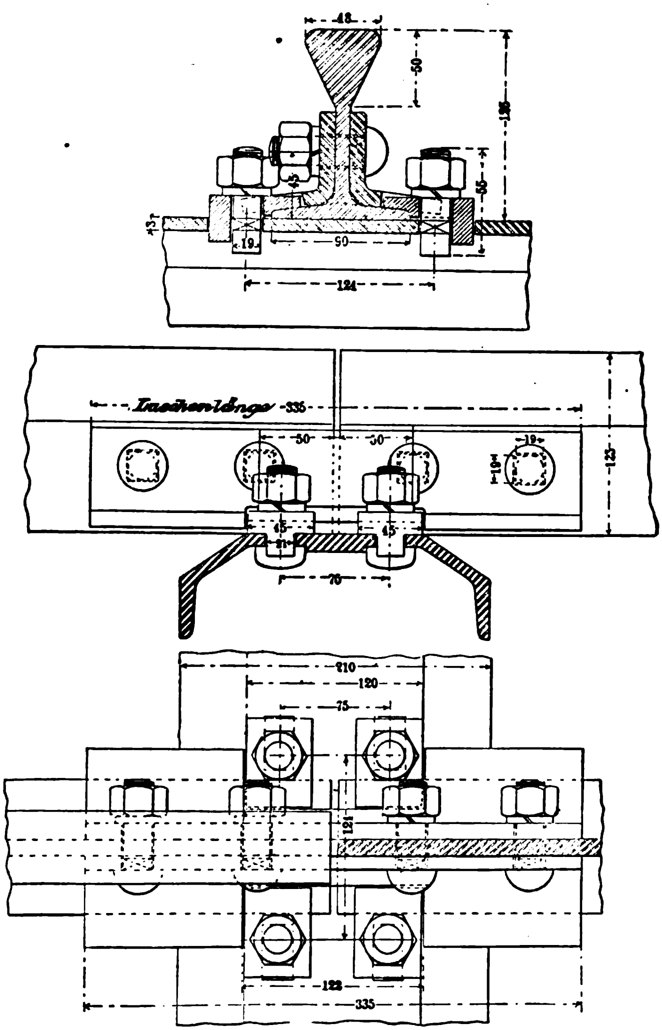


Fig. 34.

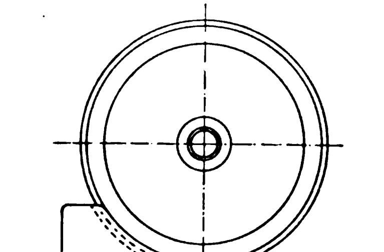


Fig. 35.

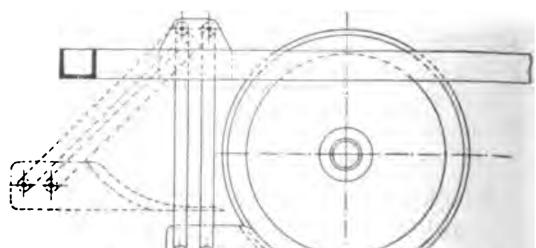


Fig. 36.

Weisser Hirsch gebaute Auflaufbremse ist in Fig. 36 dargestellt. Sie wird für gewöhnlich hoch gehalten und nur im Notfalle heruntergelassen. Entweder bewirkt diese Bremse ein Stillsetzen des Wagens, dann kann sie nur als Haltebremse benutzt werden, oder sie schleift mit dem Wagen den Berg hinunter, dann kann sie auch für eine gewisse Strecke als Fahrbremse dienen. Um die Bremse in jedem Falle wieder zu lösen, muss der Wagen um die Entfernung zwischen Radberührungspunkt und vorderster Unterschiebespitze rückwärts fahren.

Schlittenbremsen, wie eine solche in Fig. 37 dargestellt ist, die vermöge ihrer Hebelübersetzung imstande sind, den Wagen um einige Millimeter anzuheben, sind insofern verwerflich, weil sie erfahrungsgemäss zu Wagenentgleisungen neigen. Die Führung zwischen den Radauflaufpunkten wird auf die Schlittenlänge vermindert. Der Schlitten erhält hier eine in die Rille greifende Nase. Derartige mechanisch wirkende Schienenbremsen sind in Remscheid angewendet

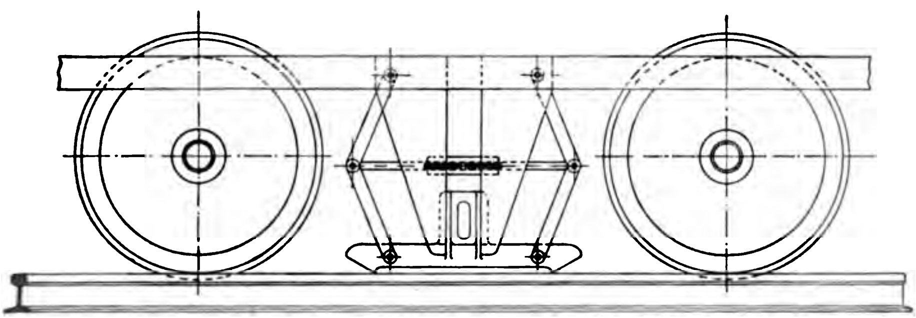


Fig. 37.

worden, können jedoch nur dann von Vorteil sein, wenn durch sie die Reibung vermehrt wird. Eine Vermehrung der Reibung kann aber nur erfolgen, wenn entweder die Schienen durch Klemmbacken umfasst werden, wie bei der vorher beschriebenen Backenbremse, oder wenn ein Keil in die Schienenrille eingetrieben wird. Durch einfache Vergrösserung der Reibungsfläche ist eine grössere Reibung nicht zu erzielen, vielmehr laufen die Schlittenbremsen nur auf einen dahingehenden Betriebsvorteil hinaus, das Bremsmaterial zu schonen und die Radbandagen vor unrunden Stellen zu bewahren.

Eine elektromagnetische Schienenbremse, welche im wesentlichen darauf beruht, dass sich ein geeignet geformter Elektromagnet an den Schienen festsaugt und vor die Räder legt, vermeidet die Mängel der Schlittenbremse vollständig. Die Konstruktion ist dem Verfasser dieses Werkes unter D. R. P. No. 95843, sowie in den meisten anderen Industriestaaten patentiert worden und in ihrer ursprünglichen

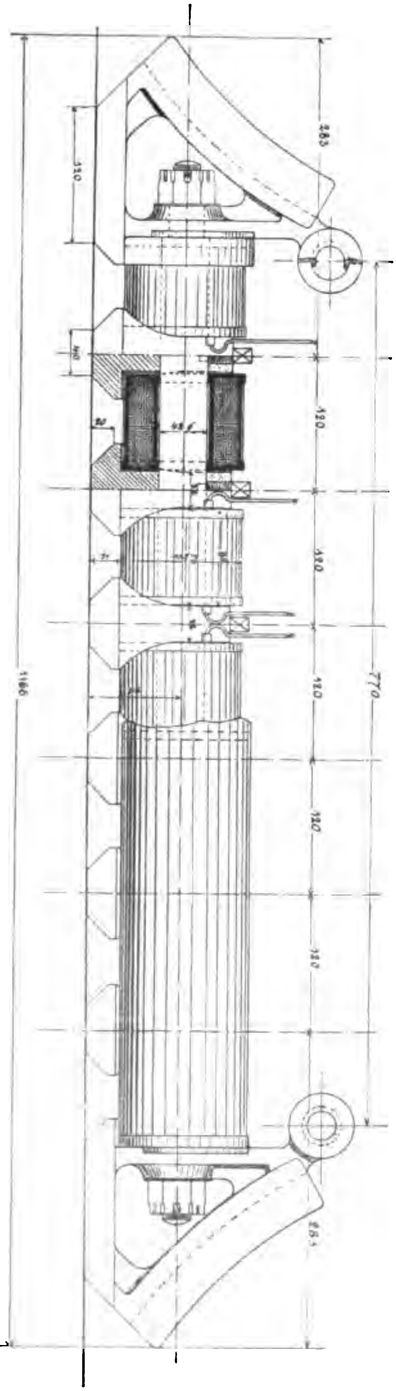


Fig. 38.

Elektromagnetische Schienenbremse.

D. R. P. 95843.

Ausführungsform durch Fig. 38 dargestellt. Eine eingehende Beschreibung dieser Bremse befindet sich in der ETZ 1899, Heft 30.

Diese Bremse ist unabhängig von jeglichen Adhäsionsverhältnissen, sodass es für die Bremswirkung gleichgiltig ist, welcher Achsdruck vorhanden ist. (Es ist diese Bremse nicht in Vergleich zu stellen mit den elektromagnetischen Achsbremsen, welche im ersten Teile dieses Werkes, Kapitel IV, eingehend behandelt sind.)

Es galt hier eine Bremse zu schaffen, welche selbst auf den steilsten Strecken genügende Sicherheit bietet und welche auch da Anwendung finden kann, wo ein Umklammern des Schienenkopfes unmöglich ist, wie z. B. bei Strassenbahnen, wo die Schienen in das Pflaster vollständig eingebettet sind.

Es ist für Steilbahnen immer wichtiger, zu wissen, dass

der Wagen das Gefälle sicher abwärts fahren kann, als dass er sicher aufwärts gehen kann. Im letzteren Falle, wenn sich z. B. die Adhäsionsverhältnisse zeitweise ändern, kann die Steigung nicht befahren werden. Im ersteren Falle aber, wenn also die Bremsen versagen würden, kann der Wagen in der Thalfahrt nicht gehalten werden und würde eine beschleunigende Wirkung erfahren. Bei der Bergfahrt wirkt die Steigung verzögernd für die Geschwindigkeit, bei der Thalfahrt wirkt das Wagengewicht indess beschleunigend, sodass die Verhältnisse bei Bergfahrt und Thalfahrt wesentlich andere sind und demnach den Bremsen bei Steilbahnen eine grössere Aufmerksamkeit zuzuwenden ist, als den Motoren.

Durch die elektromagnetische Ansaugewirkung der genannten Schienenbremse wird neben der Adhäsionsvermehrung zwischen den bremsenden Flächen zugleich das seitliche Kippmoment des ganzen Wagens in Kurven und Weichen vermindert und somit die Fahrsicherheit erhöht.

Die Magnetschienenbremse besitzt ferner den Vorteil grösster Einfachheit und Solidität in der Ausführung. Durch die Konstruktion ist die denkbar günstigste Anordnung der Magnetstromkreise möglich geworden.

Einzelne Formstücke aus magnetischem Material, die durch eine eiserne Schraube in der Längsrichtung sämtlicher Spulenmitten zusammengehalten werden, bilden die Grundform der Bremse. Die Formstücke sind in weichem Guss mit guten magnetischen Eigenschaften ausgeführt und umfassen zugleich die Spulenkästen. Jede Spule bildet zwei offene Pole, welche so aneinander gereiht werden, dass wechselnde Magnetfelder aufeinander folgen. Hierdurch werden Foucault-Ströme in den Fahrschienen erzeugt, welche im Gefolge haben, dass die Schienen stärker magnetisiert werden, als wenn sämtliche Kraftlinien in gleicher Richtung durch das Schieneneisen gingen. Bei Strassenbahnen ist der Achsstand der Wagen immer ein solcher, dass in den Kurven die Verbindungslinie des Vorder- und Hinterrad-Auflaufpunktes eine Sehne ergiebt, die keine grosse Abweichung vom Kurvenkreis besitzt, sodass man von vornherein damit rechnen kann, dass die Magnetpole genügend Schieneneisen unter sich haben, um kräftig zur Wirkung kommen zu können. Bei Strassenbahnen ist der Polschuh nicht breiter als die Schienenoberkante, welche gebildet wird aus Fahrschienenkopf, Rille und Leitschienenkopf.

Die bereits erwähnte Rückwirkung der Wirbelströme in den Fahrschienen hat zur Folge, dass eine äusserst kräftige Anziehung der im Bahnkörper liegenden Eisenmasse und eine Bewegungshinderung des beweglichen Magnetfeldes erfolgt. Dies geschieht um

so kräftiger, je schneller der Magnet bewegt wird; d. h. also, die Bremse wirkt bei ständig gleicher Erregung während schneller Fahrt intensiver als bei der langsameren und das ist ein idealer Zustand für Bremswirkungen. Sobald durch den Magneten Strom gesandt wird, zieht er sich an die Schiene an und bedingt, dass der weiche gusseiserne Bremsschuh vor das Rad zu liegen kommt, wie dies Fig. 39 darstellt, wobei das Rad an diesen anläuft, jedoch nicht auf diesen aufläuft. Die Reibung zwischen Polschuh und Fahrschiene wird durch das nachschiebende Wagengewicht vermehrt und die Drehung der gebremsten Achse verhindert.

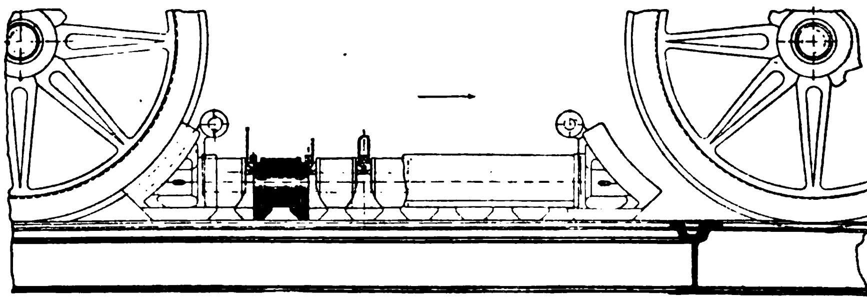


Fig. 39.

Die Erregung der Magnete kann sowohl durch Netzstrom der Bahnanlage erfolgen als auch durch Akkumulatorenstrom, welcher innerhalb der Wagen während der Fahrt aufgespeichert sein oder werden kann; auch kann der Erregerstrom durch eine von der Wagenachse betriebene Dynamomaschine erzeugt werden. Bei Strassenbahnen wird diese Dynamomaschine durch den vom Netz abgeschalteten Motor ersetzt und erzeugt dieser Motor, selbst als Reihenmotor, während seiner Drehung genügenden Strom zur Erregung des Magneten, vorausgesetzt, dass die Widerstandsverhältnisse desselben der Eigenartigkeit des Motors angepasst werden. Die Speisung der Magnete durch Netzstrom ist selbstverständlich auch möglich, wenn entsprechende Vorschaltwiderstände beim längeren Stromdurchlass vorgesehen werden. Die Aufhängung der Bremsmagnete erfolgt am Wagenuntergestell, damit die Bremse die Schwankungen des Wagenkastens nicht mitmacht.

Das äussere Aussehen der Bremse ist ein gefälliges, zumal mit der gezeichneten Anordnung zugleich ein Schutz zwischen den Rädern gebildet wird, der sonst durch besondere Schutzvorrichtungen erstrebt wird.

Die Auswechselung abgenutzter Bremsteile erfolgt auf einfachste Art und da diese Teile aus weichem Material bestehen, werden weder Schienen noch Bandagen abgenutzt.

Gegenüber den elektromotorischen Achsenbremsen hat die Schienenbremse den Vorzug, keine ölbedürftigen Lager zu besitzen, wodurch ein Teil der Betriebssorgen verschwindet.

Eine Schwierigkeit stellte sich der Konstruktion insofern entgegen, als die Isolation der Spulen sehr sorgfältig hergestellt werden musste, um sie gegen das Spritzwasser und den Strassenschmutz dauerhaft zu bekommen. Auch Salzwasser und Schneeschmelze können die dauernd gute Erhaltung der Isolation beeinflussen, wenn nicht geeignete Vorkehrungen hiergegen getroffen werden. Lang andauernde Versuche im praktischen Betriebe und besonders solid hergestellte Spulen mit den besten Isolationsmaterialien und den sichersten Abdichtungen haben indess die obwaltenden Befürchtungen vollständig überwinden lassen, sodass die magnetische Schienenbremse alle Betriebsansprüche vollauf befriedigt. Zu diesen Vorzügen kommt noch, dass das gesamte Wagenuntergestell von allen durch Bremsgestänge sonst auftretenden Beanspruchungen befreit ist und demgemäss schwächer gehalten werden kann und dass die Bremsung nicht erst durch Vermittelung von Spindeln, Ketten, Hebeln, Zugstangen auf die Laufräder übertragen wird, sondern dass der Wagenschwerpunkt direkt durch den bewegungshindernden Magnetklotz aufgehalten wird.

Diese Art der Bremsung bewirkt auch, dass die Bremse kein Zittern der Wagenteile begünstigt. Ein durch Bremsklotz oder Bremsscheibe festgehaltenes Rad kann noch vermöge seiner Elastizität bezw. seiner Torsion zwischen Achsscheibe und Radumfang Schwingungen verursachen, welche der Fahrgast als Zittern empfindet. Wird das Rad indess nahe dem Auflaufpunkt gefasst, wie dies alle Auflauf- und Anlaufbremsen thun, so sind die Schwingungen gänzlich aufgehoben und der Wagen kann sanfter und trotzdem energischer anhalten.

Unter Fortlassung des Anlaufschuhes hat die Union E.-G. Berlin die genannte elektromagnetische Schienenbremse weiterer Ausbildung unterzogen. Diese neuere Form ist durch Fig. 40 dargestellt. Auch hier sind die charakteristischen Merkmale, die aus einem Stück bestehende horizontal angeordnete, mit Wechselpolen versehene Magnetachse, die leichte Auswechselbarkeit der Abnützungsstücke und die federnde Aufhängung am Untergestell, gewahrt und in der Praxis für gut befunden worden. Die Vorzüge dieser Bremsart finden von Jahr zu Jahr neue Anhänger und dürften berufen sein, die Idealeisenbahnbremse zu erreichen.

Die elektrische Bremsung geschlossener Züge ist zur Zeit in ihrer Ausbildung begriffen und wird nach Ausreifung in der nächsten Auflage behandelt werden.

3. Gebirgsbahnen mit Adhäsionsbetrieb.

Als man dazu überging, Bahnen mit starken Steigungen zu projektieren, unternahm die Firma Siemens & Halske im Jahre 1892 auf dem Strassenbahn-Betriebsbahnhof in Budapest Versuche über die Möglichkeit der Adhäsionsausnutzung für Steilbahnen. Es wurde eine aus Holz gezimmerte Versuchsrampe mit Steigungen 1 : 19 und 1 : 10 hergestellt. Bei diesen Versuchen stellte sich heraus, dass man unbeanstandet ohne Sandstreuung auf blanker Schiene Steigungen von 96 $^0/_{00}$ bei sämtlich angetriebenen Achsen befahren kann. Die

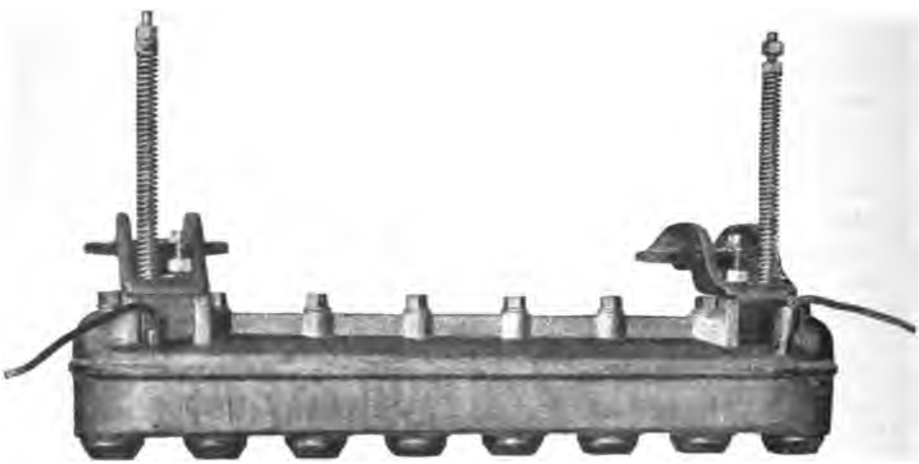


Fig. 40.

spätere Zeit hat gezeigt, dass es selbst bei Strassenbahnen, wo die Adhäsionsverhältnisse zwischen Rad und Schiene nicht immer die günstigsten sind, weil Schmutz und Feuchtigkeit die direkte metallische Berührung mitunter verhindern können, es trotzdem noch möglich ist, Steigungen unter 100 $^0/_{00}$ zu bewältigen. Rechnet man aber hierbei mit Sandstreuung, so kann man die Reibung zwischen Rad und Schiene noch weiter erhöhen. Ausserdem bietet der elektrische Betrieb die bisher praktisch noch unversuchte Möglichkeit, die Adhäsion zwischen Laufrad und Schiene durch Rad- und Schienen-Elektromagnete derart zu erhöhen, dass für Steigungen zwischen $^1/_7$ — $^1/_{10}$ alle durch notwendig werdende Anwendung von Zahnstange und Seil bedingten Nachteile überwunden werden können.

Durch die künstlich erzeugte, magnetisch vermehrte Adhäsion wird die Arbeitsleistung entsprechend vermehrt. Die genannten Siemens & Halske'schen Versuche liessen neben der Beurteilung über die Adhäsionsausnutzung auch erkennen, dass es ebenfalls wieder weniger bedenk-

lich ist, starke Steigungen aufwärts zu befahren, als dieselben abwärts gefahrlos zu benutzen. Genügt bei einer Bergfahrt die Adhäsion zwischen Rad und Schiene nicht, so kann man die Friktion durch Sandstreuung vergrössern. Hat man indess im Gefälle die Bremse nicht vollständig in der Gewalt und erreicht der Wagen zunehmende Geschwindigkeit, so genügt in demselben Verhältnis eine Sandstreuung für die Thalfahrt nicht, wie dies bei der unbeschleunigten Bergfahrt der Fall ist. Indessen sind die Bremsen für Steilbahnen, wie im vorigen Absatz 2 gezeigt wurde, entsprechend vervollkommnet worden.

In der umstehenden tabellarischen Zusammenstellung sind die Siemens & Halske'schen Versuche niedergelegt und sprechen die Zahlen für sich selbst. Gelegentlich dieser Versuche wurde auch festgestellt, dass auf den grössten Steigungen ein Anfahren möglich war.

Der elektrischen Kraftübertragung ist es demnach vorbehalten geblieben, Bahnen zu ermöglichen, die mit Dampf unausführbar waren, wenigstens in wirtschaftlicher Beziehung; in technischer Hinsicht giebt es hier keine Unmöglichkeiten. Die Anpassungsfähigkeit des elektrischen Stromes an alle Bahnbedürfnisse und die Erzeugung desselben aus allen von der Natur gegebenen Kraftspeichern ist eine so grosse und mannigfaltige, dass es keiner grossen Einsicht bedarf, um den elektrischen Bahnen für die Gebiete eine epochemachende Stelle zuzuweisen, die heute noch ausserhalb des Bereiches der ausführenden Technik liegen. Zu derartigem, noch ungepflügtem Felde gehören solche Gebirgsthalbahnen, welche sich in den meisten Fällen gerade noch als Adhäsionsbahnen durchführen lassen. Man wird sagen, dass, solange die Adhäsion noch ausgenutzt werden kann, die Dampflokomotive kein unüberwindbares Hindernis in wirtschaftlicher Beziehung darstellt; dem ist jedoch nicht so. Das Gewicht der Lokomotive und dementsprechender starker Schienen-Oberbau und -Unterbau stellen einen grossen wirtschaftlichen Faktor bei Anlage und Betrieb einer Gebirgsthalbahn dar. Neue Verhältnisse schafft die elektromotorische Kraft zum Betriebe solcher Bahnen, selbst wenn man darauf verzichtet, einen im Gebirgsthal fliessenden Bach zu Erzeugung des elektrischen Stromes zu benutzen. Mit dieser Möglichkeit kann wohl in der Schweiz, jedoch in Deutschland nur selten gerechnet werden. Zieht man in Betracht, dass bei einem elektromotorisch betriebenen Zuge nicht allein das Lokomotivgewicht, sondern bis zu beliebiger Anzahl auch die Wagenräder-Adhäsion voll ausgenutzt werden kann, so leuchtet ein, dass man Steigungen und Gefälle befahren kann, welche bis zur Adhäsionsgrenze der aufeinander mit rollender Reibung arbeitenden Flächen und Materialien reichen.

Tabellarische

der Resultate verschiedener Versuchsfahrten mit einem elektrischen

Versuchsreihe	Eigengewicht des Wagens *kg*	Belastung des Wagens *kg*	Gesamtgewicht des Wagens *kg*	Zahl der angetriebenen Achsen	Länge der Versuchsstrecke *m*	Steigung der Versuchsstrecke	Fahrzeit in Sekunden	Geschwindigkeit pro Sekunde in *m*	Geschwindigkeit pro Stunde in *km*	Anzahl der Touren pro Minute: der Wagenräder von 0,6 *m* Durchmesser	Anzahl der Touren pro Minute: des Ankers
1.	4200	2535	6735	2	312	Horizontal	51	$\frac{312}{51} = 6{,}12$	$6{,}12 \times 3{,}6 = 22{,}03$	$\frac{6{,}12 \times 60}{0{,}6 \times 3{,}14} = 194{,}90$	$\frac{194{,}9 \times 31}{11} = 549$
2.	4200	2535	6735	1	312	Horizontal	50	$\frac{312}{50} = 6{,}24$	$6{,}24 \times 3{,}6 = 22{,}46$	$\frac{6{,}24 \times 60}{0{,}6 \times 3{,}14} = 198{,}73$	$\frac{198{,}73 \times 31}{11} = 560$
3.	4200	375	4575	2	30	Steigung 52,78 ‰ (1 : 18,95)	8	$\frac{30}{8} = 3{,}75$	$3{,}75 \times 3{,}6 = 13{,}50$	$\frac{3{,}75 \times 60}{0{,}6 \times 3{,}14} = 119{,}43$	$\frac{119{,}43 \times 31}{11} = 337$
4.	4200	375	4575	2	30	Steigung 96,00 ‰ (1 : 10,42)	14	$\frac{30}{14} = 2{,}14$	$2{,}14 \times 3{,}6 = 7{,}70$	$\frac{2{,}14 \times 60}{0{,}6 \times 3{,}14} = 68{,}15$	$\frac{68{,}15 \times 31}{11} = 192$

Zusammenstellung

Wagen auf horizontaler Bahn und auf starken Steigungen.

Volt	Ampère	Volt-Ampère	Verbrauchte elektrische Energie in EPS	Zugkraft pro Tonne Wagengewicht: in der Horizontalen *kg*	Zugkraft pro Tonne Wagengewicht: in den Steigungen *kg*	Zugkraft im Ganzen *kg*	Mechanische Arbeitsleistung in PS	Nutz-Effekt $\frac{PS \times 100}{EPS}$	Verlust durch innere Reibung (Kettenübertragung u. Lager) u. Umsetzung v. elektrischer Energie in mechanische Energie
282,5	26,0	282,5 × 26,0 = 7345,0	$\frac{7345{,}0}{736}$ = 9,98	15	—	6,735 × 15 = 101,03	$\frac{101{,}03 \times 6{,}12}{75}$ = 8,24	$\frac{8{,}24 \times 100}{9{,}98}$ = 82,57 %	17,43 %
285	24,5	285,0 × 24,5 = 6982,5	$\frac{6982{,}5}{736}$ = 9,49	15	—	6,735 × 15 = 101,03	$\frac{101{,}03 \times 6{,}24}{75}$ = 8,41	$\frac{8{,}41 \times 100}{9{,}49}$ = 88,62 %	11,38 %
266	54,0	266,0 × 54,0 = 14364,0	$\frac{14364{,}0}{736}$ = 19,52	15	52,78	4,575 × (15 + 52,78) = 310,09	$\frac{310{,}09 \times 3{,}75}{75}$ = 15,50	$\frac{15{,}50 \times 100}{19{,}52}$ = 79,41 %	20,59 %
260	68,0	260,0 × 68,0 = 17680,0	$\frac{17680{,}0}{736}$ = 24,02	15	96,00	4,575 × (15 + 96,00) = 507,83	$\frac{507{,}83 \times 2{,}14}{75}$ = 14,50	$\frac{14{,}50 \times 100}{24{,}02}$ = 60,37 %	39,63 %

Es möge hierfür angenommen werden, dass z. B. der Zugwagen aus einem vierachsigen Motorwagen besteht, auf welchem sich Post-, Gepäck-, Zugführerraum und sonstige, gewöhnlich auf Lokomotiven, Tender und Gepäckwagen vorhandenen Einrichtungen befinden; dieser Wagen soll mit allen Achsen angetrieben werden. Der eine oder andere der stets angehängten Personenwagen kann auch mit Motorachsen versehen werden, und zwar ist die Anzahl der angetriebenen Achsen abhängig von den vorhandenen Steigungsverhältnissen, wie sie das Gebirgsthal bei einfachster billigster Tracenführung von selbst vorschreibt. Es werden dies Steigungen sein, die selten über 1 : 10 sind und, wenn es der Fall sein sollte, zu zeitweisen Adhäsionsvermehrungen führen werden. Je nachdem nun die betriebenen Strecken einen grossen oder kleinen Güterverkehr haben, wird man die Motorwagen bezw. die angetriebenen Achsen zu vermehren oder zu vermindern haben; denn vorläufig scheint es ausgeschlossen zu sein, dass man Güterwagen mit Motoren versehen wird, weil dieselben ein totes Kapital während der Lade- und Entladezeit darstellen würden. Ob man bei Schmalspurbahnen, bei denen die Überführung der Normalspurwagen wünschenswert ist, entsprechende Drehgestelle mit Motoren versehen wird, bleibt für spezielle Verhältnisse vorbehalten; keinesfalls stellen sich dieser Idee irgendwelche Schwierigkeiten entgegen. Dass es durch solche Bahnen erst möglich wird, denjenigen Landschaften bequeme und billige Bahnverbindungen zu sichern, welche mit den bisher vorhandenen Betriebsarten unausführbar waren, sichert der Idee, elektrische Bahnen in Gebirgsthälern zu verwenden, von vornherein die denkbar günstigsten Aussichten. Als Nebenprodukt von nicht zu unterschätzender Bedeutung ist bei elektrischen Gebirgsthalbahnen die Abgabe billigen elektrischen Lichtes an die umliegenden Ortschaften, und auch dieser Umstand spricht für die Zukunft solcher Bahnen. Die letzten Jahre haben bereits derartige Bahnen gezeitigt und die im Nachfolgenden beschriebenen Bahnanlagen geben bereits ein Bild von diesbezüglicher Thätigkeit.

In Le Havre wurde im September 1897 eine elektrische Steilbahn dem Betrieb übergeben, welche anfangs als Seil- oder Zahnradbahn gedacht war, nach Lage der örtlichen Verhältnisse indess als solche nicht ausführbar schien. Die Bahn wurde als Adhäsionsbahn dann durchführbar, nachdem man den elektrischen Betrieb vorsah.

Die Bahn verbindet die Stadt mit dem Kirchhof auf der Anhöhe Sainte-Marie. Die Länge der Linie beträgt 750 *m*, die Höhendifferenz zwischen den beiden Endpunkten ist 69,45 *m*, was einer durchschnittlichen Steigung von 9,2 % entspricht; die vorhandenen Steigungen schwanken zwischen 7,6 % und 11,5 %. Die Bahn ist somit die steilste Adhäsionsbahn Europas. Sie benutzt nahe ihrem Ausgangs-

punkt einige Strassen, passiert dann einen kurzen Tunnel und endigt auf der vorher verlassenen Strasse.

Man wählte hier die einfache und zuverlässige oberirdische Stromzuführung. Der Fahrdraht wird auf den offenen Stellen von Masten mit Auslegern getragen, während er im Tunnel an Isolatoren, die im Scheitel des Gewölbes sitzen, befestigt ist. Das vorhandene Gleis wurde durch ein neues schwereres ersetzt, und zwar wurden, soweit die Linien in Strassen verlaufen, Brocaschienen von 28 *kg* Gewicht für das Meter, im übrigen Vignolschienen von 25 *kg* Gewicht verlegt. Die Kurven wurden reguliert, sodass der kleinste Radius 35 *m* beträgt.

Der Gleichstrom, welcher eine Spannung von 550 Volt hat, wird von der Société l'Énergie électrique du Havre geliefert, deren Centrale 1600 *m* vom Anfangspunkte der Bahn entfernt liegt; hier sind auch die Speisekabel angeschlossen.

Das rollende Material besteht aus vier Motorwagen, welche je 20 Sitz- und 30 Stehplätze haben. Jedes Fahrzeug ist mit zwei Motoren ausgerüstet, welche zusammen 100 PS zu leisten imstande sind.

Ganz besondere Sorgfalt musste infolge der steilen Stellen den Bremsen geschenkt werden; jeder Wagen besitzt daher drei, deren jede für sich allein zum Festhalten des Wagens genügt und zwar:

1. Eine magnetische Achsbremse.
2. Eine vierklötzige mechanische Bremse, mit welcher ein Druck gleich dem Wagengewicht (13000 *kg*) auf die Räder ausgeübt werden kann.
3. Eine gleichfalls mechanisch bethätigte Schienenbremse, die stark genug ist, die Räder von den Schienen abzuheben, aber trotzdem dem Wagen eine gute Führung in den Schienen gewährt.

Schliesslich ist noch eine Sperrvorrichtung vorgesehen, welche verhindert, dass der aufwärts fahrende Wagen zurückgleiten kann, falls aus irgend einem Grunde eine Stromunterbrechung stattfindet. Die Anordnung hat noch den Vorzug, dass alle Bremsen gelöst werden können, wenn der Wagen stillsteht, wodurch das Anfahren erleichtert wird.

Ferner sind die Fahrzeuge mit Sandstreuern ausgerüstet.

Die Bergfahrt erfolgt mit einer Geschwindigkeit von 8 *km*/Std. und die Thalfahrt mit einer solchen von 12 *km*/Std.

Die Betriebsstromstärke schwankt je nach Kurven und Steigung zwischen 90 und 140 Ampère.

In die Kategorie dieser Bahnen gehören die bereits im Kap. I behandelten Drehstrombahnen in Evian-les-Bains, Murnau—Oberammergau, Burgdorf—Thun und andere, während als Gleichstrom-

bahnen zwei von der Firma E. A.-G. vorm. Schuckert & Co., Nürnberg, hier noch kurz Erwähnung finden können.

Die erste elektrische Bergbahn in den Vogesen, Bergbahn Türkheim—Drei Ähren, wurde am 6. Juni 1899 dem Verkehr übergeben. Die Bahn führt von Türkheim nach dem in einer Höhe von 659 *m* über dem Meere gelegenen Drei Ähren, der »Perle der Vogesen«.

Drei Ähren, der Endpunkt der Bergbahn, ein bekannter Wallfahrtsort, der jährlich von etwa 30 000 Pilgern aufgesucht wird, war von jeher von Touristen stark besucht; dank seiner hervorragend günstigen Lage auf dem Höhenzuge zwischen den beiden grossartigsten Vogesenthälern, dem Münsterthal und dem Kaysersbergerthal, bildet es den Ausgangspunkt der interessantesten Vogesen-Touren und bietet besonders im Herbst zur Zeit des sogenannten »Hochdruckwetters« eine wundervolle Fernsicht über die Vogesen, die Rheinebene, den Schwarzwald, den Jura und die Alpen vom Mont Blanc bis zum Säntis.

Durch Errichtung einer Bergbahn zwischen Türkheim und Drei Ähren hat sich der Fremdenverkehr noch erheblich gesteigert.

Die Bahn ist eingleisig mit 1 *m* Spur ausgeführt und hat eine Gesamtlänge von 8,7 *km*. Unmittelbar am Bahnhof Türkheim beginnend, benutzt die Bahn zunächst auf einer Länge von 4,7 *km* die nach Drei Ähren führende Landstrasse, durchquert dann auf eigenem Bahnkörper und auf 1,8 *km* Länge den Türkheimer Wald, um darauf der Niedermorschweierer Chaussee bis in die Nähe von Drei Ähren zu folgen; der letzte Teil der Strecke bis zur Endstation ist wieder auf eigenem Planum geführt. Besonders in ihrem mittleren Teile musste sich die Trace wegen der stark abfallenden Hänge in vielen Krümmungen dem Terrain anschmiegen. Der kleinste Krümmungshalbmesser der Bahn beträgt 30 *m* und die zwischen zwei Kurven liegende gerade Strecke mehrfach nur 3,5 *m*.

Die Bahnlinie verläuft von Türkheim bis Drei Ähren, abgesehen von den ersten 1,5 *km*, in andauernder Steigung von 50—70 ‰.

Der Oberbau besteht aus Vignolschienen mit einem Gewicht von 20 *kg* für das Meter und eisernen Querschwellen von 1,7 *m* Länge. Auf eine Schienenlänge von 9 *m* wurden zehn Schwellen verwandt; die Schienen sind mit Haken-Klemmplatten und Haken-Schrauben auf den Schwellen befestigt.

Die Kraftstation liegt bei 1,2 *km* dicht an der Bahntrace und liefert für den Bahnbetrieb Gleichstrom von 600 Volt.

Ferner ist zur Unterstützung der Bahnmaschine eine Pufferbatterie (System Tudor) von 316 Zellen, Type E S 8, aufgestellt, welche eine Kapazität von 132 Ampèrestunden bei einstündiger Entladung besitzt, entsprechend einer Leistung von 80 Kilowatt.

Die Fahrdrahtleitung ist an U-Eisen- bezw. Winkeleisenmaste aufgehängt und bei der Centrale direkt mit dieser verbunden, ausserdem wird sie an vier weiteren Stellen durch besondere Leitungen gespeist.

Die auf der Drei Ähren-Bahn laufenden Züge werden je nach den Bedürfnissen des Verkehrs aus einem, zwei oder drei Wagen, mit je 18 Sitz- und 16 Stehplätzen, zusammengesetzt, sodass auf einmal über 100 Personen befördert werden können. Die Sitzbänke sind quer zur Wagenachse (mit Längsgang) angeordnet, um den Fahrgästen freien Ausblick zu gewähren. Ein Betrieb mit Anhängewagen war der grossen Steigungen wegen von vornherein ausgeschlossen; die Züge bestehen daher nur aus Motorwagen und sämtliche Achsen erhalten elektrischen Antrieb, um das ganze Zuggewicht für die Adhäsion auszunutzen. Bei Zügen aus zwei oder drei Wagen werden die Kabelleitungen der hinteren Motorwagen mit denjenigen des in der Fahrtrichtung jeweilig vordersten durch Kabelkuppelungen derartig verbunden, dass die Regulierung der sämtlichen sechs Motoren eines Zuges gemeinsam durch den Regulator auf der vorderen Plattform erfolgt. Jeder Wagen besitzt zwei 20-pferdige Motoren, welche mit doppeltem Vorgelege und einem Übersetzungsverhältnis von 1 : 8,6 die Laufradachsen antreiben.

Die Wagen besitzen ausser einer mechanischen Spindelbremse die elektrische Kurzschlussbremse, welche sämtliche Achsen des Zuges gleichmässig beeinflusst und daher besonders energisch wirkt.

Auf der Drei Ähren-Bahn finden täglich in jeder Richtung mindestens sieben Fahrten statt, im Anschluss an die zwischen Colmar und Türkheim verkehrenden Züge der Reichseisenbahn.

Sowohl bergauf wie bergab wird die ganze Strecke bei einer zugelassenen grössten Geschwindigkeit von 15 *km* / Std. in etwa 45 Minuten zurückgelegt.

Die elektrische Gebirgsbahn Christiania—Holmenkollen, die sogenannte Holmenkolbahn, hat den Zweck, als geeignetes und billiges Verkehrsmittel die herrliche Umgebung von Holmenkollen den Bewohnern von Christiania zugänglich zu machen. Von der Kraftstation ausgehend, führt ihre Normaltrace über ebenso interessantes als technisch schwieriges Terrain und endigt in der Nähe des berühmten Luftkurortes Holmenkollen. Die Gesamtlänge der mit oberirdischer Stromzuführung ausgerüsteten Bahn beträgt 6,59 *km*, wovon 40 % gerade Strecken, 60 % aber Kurven bilden. Die durchgehende Steigung in der Richtung nach Holmenkollen beträgt im Mittel ca. 1 : 30, die Gesamterhebung der Bahn 192 *m*. Für die Gleisanlage sind Vignolschienen von 20,5 *kg* Gewicht mit Holzschwellen verwendet worden. Die untere Hälfte der Strecke ist doppelgleisig, die obere zunächst noch eingleisig.

Auf der doppelgleisigen unteren Strecke befindet sich über jeder Gleismitte eine Fahrdrahtleitung, über der eingleisigen oberen Strecke sind zwei Fahrdrähte von 8,3 *mm* Durchmesser verlegt. Die Verstärkungsleitungen haben zusammen 150 bezw. 100 *qmm* Kupferquerschnitt. In bestimmten Abständen sind Streckenunterbrecher und Hörnerblitzableiter in der üblichen Weise angebracht.

Da die Maschinen der den Strom liefernden Kraftstation nur für die durchschnittlich gebrauchte Energiemenge bemessen sind, wurde in Mitte der Bahn bei Station Slemdal eine zu den Dynamos und dem Leitungsnetze parallel geschaltete Pufferbatterie aufgestellt, die bei der stark wechselnden Stromentnahme für die Aufrechterhaltung eines gleichmässigen Maschinenbetriebes bezw. einer Aufspeicherung der disponiblen Maschinenleistung zu sorgen hat.

Die Batterie besteht aus 250 Zellen Tudor-Akkumulatoren mit 370 Ampère maximaler Entladestromstärke. Die Aufladung erfolgt durch Dreiteilung der Zellenzahl, wobei nacheinander zwei Drittel derselben in Serie zur Ladung kommen.

Die Eigenartigkeit der Verhältnisse und der Charakter der Bahn erfordern einen möglichst sicheren und gut organisierten Nachrichtendienst, weshalb eine weitverzweigte Telephonanlage hergestellt wurde. Ausser acht festen Telephonstationen sind sämtliche Halteplätze mit Anschlussstellen versehen, woselbst die in allen Motorwagen mitgeführten transportablen Telephonapparate angeschlossen werden können.

Das rollende Material besteht aus zwölf Motor- und zehn Anhängewagen mit je 16 Sitz- und 12 bezw. 16 Stehplätzen. Für den sehr lebhaft entwickelten Güterverkehr stehen vier Güterwagen zum Transport von Langholz, Bau- und Ziegelsteinen, Kalk und Stückgut zur Verfügung.

Für die Mitnahme von Schneeschuhen (Ski), Schlitten und der dazu gehörigen langen Lenkstangen zur Winterzeit sind an den Seitenwänden der Motor- und Anhängewagen geeignete Vorrichtungen angebracht, welche einen Massentransport dieser Gerätschaften gestatten.

Die Bremsung der Motorwagen erfolgt während der Thalfahrt elektrodynamisch, zu welchem Zwecke die Regulatoren mit entsprechenden Einrichtungen und mehrfachen Bremsstufen versehen sind. Die auf den Achsen der Anhängewagen angebrachten elektromagnetischen Bremsen sind durch Kabelkuppelung mit den Motorwagen verbunden und während der Bremsung in den Stromkreis der Motoren eingeschaltet. Neben der elektrischen Bremseinrichtung sind auf allen Wagen auch noch kräftige Hand-Kettenbremsen vorgesehen.

Bei einer Betriebsdauer von 15 Stunden folgen sich die Wagen an Werktagen in je 15 Minuten, an Sonntagen in $7^1/_2$ Minuten.

4. Seilbahnen.

Man kann hier die Unterscheidung machen zwischen Seilbahnen mit ruhendem Seil und solchen mit bewegtem Seil.

a) Mit ruhendem Seil.

Die erstere Gattung stellt sich gewissermassen als eine Vereinfachung einer Zahnstangenbahn dar, bei welcher die Zahnstange durch ein fest verankertes Seil ersetzt wird. Man muss bei einem derartigen Betrieb mit ruhendem Seil eine von Elektromotoren angetriebene Seilwinde auf ein besonderes Vorspanngefährt montieren, diese Seilwinde durch Elektromotoren bewegen und dadurch eine stellenweise mangelnde Adhäsion ersetzen. Die Anordnung wird da mit gutem Erfolge arbeiten können, wo man eine Kombination zwischen Adhäsionsbahn und Steilbahn herstellen muss, ohne dass man, wie beim Zahnradbetrieb, diese Kombination auf Kosten verwickelter Verhältnisse erreicht. In Fig. 41 ist diese Anordnung mit ruhendem Seile dargestellt für eine Bahn, in der im allgemeinen die Adhäsion des Motorwagens genügt, um einen auf schmalspurigen Rollböcken stehenden, normalspurigen Güterwagen zu befördern. Auf einer kurzen Strecke, bei welcher die Adhäsion des Personenwagens zum Ziehen des motorlosen Anhängers nicht ausreicht, ist eine Seillokomotive vorgespannt, welche sich an dem, in der Mitte des Gleises liegenden, in der Figur zur Anschauung gebrachten Seile aufwärts zieht. Die Seiltrommel kann nun beliebig angetrieben werden, ebenso wie der Strom in der üblichen Form der Seillokomotive zugeführt wird. An den Enden der Seilstrecke wird die Seillokomotive aus dem Hauptgleis in ein Nebengleis geführt, und die reine Adhäsionsbeförderung kann wieder vor sich gehen.

b) Seilbahnen mit bewegtem Seil.

Dieselben haben mehrfach Anwendung gefunden und stellt sich der elektrische Antrieb des Seiles gegenüber den anderen Betriebsarten mit Dampf, Wasserkraft, Wasserübergewicht nur dadurch anders, dass es möglich ist, von einer Kraftstation mehrere Unterstationen, welche mit elektromotorischen Seilantrieben versehen sind, zu betreiben. Wenn nämlich bisher eine Steilbahn längere Strecken zu überwinden hatte, so musste Zahnstangenbetrieb angewandt werden, weil dann das Gewicht des bewegten Seiles im ungünstigen Verhältnis zu der Nutzleistung steht. Durch die elektrische Kraftübertragung und durch die leichte Teilung der Arbeitsgrössen ist es möglich geworden, längere Seilbahnen zu errichten, von denen

die nachstehend beschriebene Stanserhorn-Bahn als der Typus solcher Bahnen gelten kann. Die ausführliche Beschreibung dieser Bahn ist in der Z. d. V. d. Ing., Jahrgang 1896, Heft 1, enthalten, und folgen hier auszugsweise die charakteristischen Daten.

Bei der Projektierung der Stanserhorn-Bahn hatte man natürlich zuerst an die Seilbahnen mit Wasserballast gedacht, ähnlich wie bei der Neroberg-Bahn in Wiesbaden, bei der Heidelberger Bergbahn, bei der Giesbach-Bahn in Gütsch, bei der Emser Bergbahn u. s. w.

Je länger indess eine Bahn mit Wasserballast ist, um so schwieriger gestalten sich die Verhältnisse, da zum Bewegen eines längeren Seiles grössere Wassermengen erforderlich sind. Das Wagenuntergestell muss kräftiger und schwerer werden, die Bremseinrichtungen erfordern kostspieligere Konstruktionen und das Gewicht des Oberbaues sowie der Seile wächst proportional der Länge.

Man machte sich daher beim Bau der Stanserhorn-Bahn die Erfahrungen, die man bei der Bürgenstock-Bahn und bei der Salvatore-Bahn mit der elektrischen Kraftübertragung gesammelt hatte, zu nutze.

Der bei der Stanserhorn-Bahn zu überwindende Höhenunterschied beträgt 1400 *m*. Die ganze Länge der Bahn, wagerecht gemessen, ist 3597 *m*, in der Bahnneigung dagegen 3915 *m*, also nahezu 4 *km*. Eine so bedeutende Länge konnte mit einem einzigen Seile nicht betrieben werden; vielmehr musste die Bahn auch schon zur Erzielung genügender Leistungsfähigkeit in kürzere Einzelstrecken zerlegt werden. Die Beschaffenheit des Geländes führte zur Wahl von drei Einzelstrecken, deren jede am oberen Endpunkt mit vollständiger Motoreinrichtung ausgestattet ist. An den beiden Zwischenstationen müssen die Fahrgäste von einer Seilstrecke in die andere umsteigen, da jeder Wagen mit seinem Seilende fest verbunden ist. Aus dem beigegebenen Höhenplan (Fig. 42) sind die Steigungsverhältnisse und aus der nachfolgenden Tabelle die Verhältnisse auf den einzelnen Strecken zu ersehen.

Alle drei Strecken sind eingleisig und in 1 *m* Spurweite mit selbstthätiger Ausweiche in der Mitte ausgeführt. Der Oberbau besteht aus Stahlschienen von 20 *kg*/*m* Gewicht, welche auf eisernen Querschwellen fest verschraubt sind. Die Weichen sind dieselben, wie bei eingleisigen Seilbahnen allgemein üblich, nur dass sie durch Wegfall der bei Seilbahnen bisher geforderten Zahnstange zum sicheren Eingreifen der Bremse etwas vereinfacht sind.

Stationen	Höhe über dem Meere m	Höhen-unterschied m	Länge der Bahn schief gemessen zwischen den Stationen m	vom Anfang m	wagerecht zwischen den Stationen m	vom Anfang m	Steigungen %	mittlere Steigung %
Stans . . .	450							
		264	1550	1550	1527	1527	10 bis 27,5	17,3
Kälti . . .	714							
		507	1090	2640	960	2487	40 bis 62,0	52,1
Blumatt . .	1221							
		629	1275	3915	1110	3597	40 bis 62,0	56,7
Stanserhorn	1850							
	—	1400	3915	—	3597	—	—	39,0

Der Kraftbedarf auf den drei Strecken ist verschieden (29, 44, 48 PS), indess sind die Kraftstationen übereinstimmend mit Elektromotorenanlage und Dampfmaschinenreserve ausgerüstet.

Die Elektromotoren sind sechspolige Gleichstrommaschinen für 1600 Volt Spannung und 28 Ampère Strom, entsprechend einer Leistung von rund 60 PS. Sie arbeiten mittels Riemenübertragung auf eine Transmissionswelle und von dieser mittels Zahnradvorgeleges auf die Seilscheibe. Das Übersetzungsverhältnis ist so gewählt, dass die Seilscheibe bei der grössten Geschwindigkeit des Elektromotors von 600 Minuten-Umdrehungen an den beiden oberen Strecken 6,2, an der unteren dagegen die doppelte Anzahl Umdrehungen macht. Der Durchmesser der Seilscheibe beträgt 4 *m*, mithin ist die grösste Umfangsgeschwindigkeit rund 1,3 *m*/Sek. bezw. 2,6 *m*/Sek. Im normalen Betrieb soll die Geschwindigkeit nur 1 *m*/Sek. bezw. 2 *m*/Sek. betragen. Die Dampfmaschinen sind Zweicylindermaschinen von 50 PS. Sie arbeiten ebenfalls mittels Riemenübertragung auf die Transmissionswelle.

Die Bewegungsrichtung wird bei den Elektromotoren durch Umschaltung, bei den Dampfmaschinen durch Umsteuerung gewechselt. Zum Regeln der Fahrgeschwindigkeit beim Elektromotorenbetrieb dienen Widerstände. Liegen die Belastungsverhältnisse so, dass zur Bewegung der Wagen keine Motorenkraft erforderlich ist, so wird die Fahrgeschwindigkeit durch die auf der Transmissionswelle angeordnete Handbremse geregelt und der Motor durch Lösen der Reibungskuppelung ganz ausgeschaltet.

Die Handbremse ist eine Backenbremse mit geriffelter Scheibe. Die Bremsklötze sind aus Hartholz angefertigt und umfassen annähernd die Hälfte der Scheibe. Die Backen werden mittels Schraubenspindel geschlossen und geöffnet.

Die Turbinenanlage der Primärstation von 150 PS, welche zum Betriebe der Bürgenstock-Bahn gebaut war, treibt jetzt auch die Stanserhorn-Bahn und überdies die 3,5 *km* lange Strassenbahn, welche Stans mit der Dampfschiffhaltestelle Stansstadt am Vierwaldstätter See verbindet. Es sind dort im Maschinenraum drei weitere Dynamos aufgestellt worden, von denen eine für die Strassenbahn und zwei andere für die Stanserhorn-Bahn arbeiten. Die Leitungen sind oberirdisch geführt; ihre Länge beträgt bis Stans rund 2500 *m*, bis Stanserhorn rund 6000 *m*. Für den Betrieb der Bürgenstock-Bahn sind höchsten 60 PS erforderlich, 20—25 PS sind etwa für die elektrische Strassenbahn nötig, und so blieben für die Stanserhorn-Bahn im ungünstigsten Falle noch etwa 65—70 PS. In Wirklichkeit muss die Turbine jetzt mehr als 150 PS leisten, sodass neben den beiden anderen Bahnen noch gleichzeitig zwei Strecken der Stanserhorn-Bahn betrieben werden können, vorausgesetzt, dass sie nicht voll belastet sind, d. h. dass nicht voll besetzte Wagen zu gleicher Zeit von den unteren Stationen abgehen. Der Kraftbedarf ist auf den drei Strecken der Stanserhorn-Bahn ebenso wie auf der Bürgenstock-Bahn bei Beginn der Fahrt am grössten und nimmt während derselben ständig ab, sodass er unter Umständen gleich Null oder auch negativ werden kann. Aus nachstehender Tabelle ist die Schwankung des Kraftbedarfes der drei Strecken der Stanserhorn-Bahn ersichtlich:

	Wagen		Kraftbedarf in PS	
	aufwärts	abwärts	zu Anfang der Fahrt	zu Ende der Fahrt
Strecke I . .	voll belastet	leer	+ 48	+ 12
» II . .	leer	leer	+ 31	— 11
» III . .	leer	voll belastet	+ 9	— 27

Im Fahrplan für die drei Bahnen ist Rücksicht auf die Leistungsfähigkeit der Primärstation und den schwankenden Kraftbedarf in den Sekundärstationen genommen und jener so entworfen, dass bei normalem Betriebe die vorhandene Wasserkraft ausreicht. Bei sehr lebhaftem Verkehr wird gewöhnlich die obere Strecke der Stanserhorn-Bahn mit Dampf betrieben.

Die Stanserhorn-Bahn wurde in den Jahren 1891 und 1892 gebaut. Im Winter 1892 bis 1893 wurde der Tunnel der dritten Strecke fertiggestellt und der Betrieb dann im Frühjahre 1893 eröffnet. Der Bau wurde von der Firma Bucher & Durrer, Kägiswyl, mit einem Kostenaufwand von 1200000 *M* ausgeführt. Die Kosten auf 1 *km* Bahn betragen also rund 307000 *M*. Wenn man berücksichtigt, unter welch' schwierigen Verhältnissen die Bahn gebaut wurde, welche bedeutende Kosten der Transport von Baumaterial,

Schienen, Schwellen u. s. w. auf diesen Steigungen verursachte, wenn man ferner die bauliche Ausführung des Bahnkörpers der zweiten und dritten Strecke und den 175 *m* langen Tunnel in Betracht zieht, so sind die Kosten als nicht zu hoch zu bezeichnen. Dass der Betrieb sehr ökonomisch und billig ist, leuchtet ohne weiteres ein, und es steht wohl ausser Zweifel, dass sowohl die Bau- als auch die Betriebskosten für jede andere Bahnanlage, sei es nun Wasserballast- oder Zahnradbahn mit Lokomotiv- oder elektrischem Betriebe, höher geworden sein würden.

Die Stanserhorn-Bahn steht als Seilbahn in Bezug auf die Gesamtlänge und Höhe bis jetzt unerreicht da. Die bei ihr zuerst angewendete Zangenbremse hat bereits weitere Anwendung gefunden, und zwar für die elektrische Seilbahn in Genua, für die Seilbahn mit Dampfbetrieb Loschwitz—Weisser Hirsch bei Dresden und andern neueren Anlagen.

Für die mit Dreiphasen-Strom elektrisch betriebene Seilbahn auf den Mont-Dore im Departement Puy-de-Dome in Frankreich entschied man sich nach verschiedenen Studien für eine elektrisch betriebene Seilbahn, deren elektrischer Teil nach den Plänen der elektrotechnischen Firma Guitton & Co. ausgeführt wurde.

Die Trace wurde nach der Neigung des Berges gewählt, indem man soviel als möglich dem Gelände folgte, um die Kosten der Erdarbeiten zu verringern und Kunstbauten zu vermeiden, sodass das Längenprofil sieben wechselnde Neigungen von 26 bis 56% zeigt. Die einfache Länge der Linie, welche eine Spurweite von 1 *m* besitzt, beträgt 3,4 *km*. Der Höhenunterschied zwischen den beiden Endstationen beträgt 177,24 *m* und die obere Station hat eine Höhe von 1246 *m* über dem Meer. Die Bahn ist eingleisig, ausgenommen eine Länge von 38 *m* in der Mitte derselben, wo sich die Wagen kreuzen. Man konnte auf diese Weise die Bahnplanumbreite nach auf- und abwärts des Ausweichgleises vermindern und die Kosten des Unterbaues verringern. Es entfielen auch Wechsel, da die Räder der Wagen an ihrer inneren Seite der Kreuzung keine Spurkränze und an ihrer äusseren Seite doppelte Spurkränze besitzen. Die beiden äusseren Schienen an der Kreuzungsstelle sind auf der ganzen Linie fortlaufend und sichern die Führung, und zwar eine Schiene hiervon für einen Wagen, die andere für den zweiten.

Der Oberbau besteht aus den auf eisernen Unterlagen befestigten breitbasigen Schienen mit einem besonders geformten konischen Kopf, damit die unter den Wagen befindlichen Zangen- oder Klemmbackenbremse denselben beiderseits umfassen kann.

Die elektrische Kraft wird in einer 2,2 *km* von Mont-Dore thalabwärts entfernt gelegenen Kraftanlage erzeugt, welche die Wasser-

kraft der Dordogne ausnützt und zur oberen Station als dreiphasigen Strom überträgt, um daselbst den Motor zu bethätigen. Der Strom wird in der Kraftstation direkt mit 3600 Volt erzeugt und im Motor mit dieser Spannung ohne Zuhilfenahme von Transformatoren angewendet.

Das Turbinenhaus enthält ein Souterrain für die Ausflussrohre und die Wasserkammer, welche die Saugarbeit erfordert, ein Erdgeschoss von 10,13 · 7,5 *m*, welches zwei Gruppen Turbinen und Dynamos und die Schalttafel enthält, endlich ein als Magazin dienendes Stockwerk.

Der Elektromotor dient zum Betrieb der Bahn und ist ein Asynchron-Dreiphasenmotor. Der Phasenanker mit Trommelwickelung hat einen grossen Durchmesser und geringe Länge, um die magnetische Streuung möglichst herabzudrücken. Die Phasenwickelungen sind durch Sternschaltung miteinander verbunden. Auf der Motorwelle sind drei Schleifringe angeordnet, vor welche beim Anlassen ein Widerstand ohne Selbstinduktion, aus Drahtspiralen bestehend, geschaltet wird. Das Erregerfeld ist 2 : 2 polig und macht 500 Umdrehungen pro Minute. Der Anker hat bei normaler Belastung ungefähr 490 Umläufe in der Minute. Bei dieser Geschwindigkeit liefert der Motor 90 PS und verbraucht 13,5 Ampère Phasenstrom mit rund 2000 Volt Phasenspannung.

Damit die beiden am Seil hängenden Wagen abwechselnd auf- und abfahren, muss nach jeder Fahrt der Drehungssinn der Seiltrommel, also auch jener des Motors, gewechselt werden, was durch Umschalten zweier Ströme des Magnetfeldes bewirkt wird, wodurch dieses Feld die entgegengesetzte Drehung erhält. Während der Fahrt lässt sich keine Schaltänderung vornehmen und der Motor behält unabhängig von der jeweiligen Neigung seine Geschwindigkeit. Nachdem die beiden Wagen sich kreuzten, befindet sich der abwärts gehende Wagen auf dem grössten Gefälle und zieht den anderen nach aufwärts; der Motor arbeitet jetzt als Generator und wirkt somit als Bremse, indem er den erzeugten Strom durch die Leitung in den Anker der Dynamo zurücksendet.

Die Übersetzung auf die Seiltrommel geschieht mittels Riemenantriebes und zweier Zahnrädertriebe im Verhältnisse von 1 : 100. Die Antriebsrolle besitzt zwei Rillen. Das Seil läuft auf die eine Rille auf und von da durch eine Überleitungsrolle zur anderen. Zwischen beiden liegt auf der Seiltrommel eine Bandbremse, die von selbst in Thätigkeit tritt, sobald einer der beiden Wagen über den bestimmten Endpunkt der Linie hinausläuft. Ausserdem ist auch die erste Vorgelegewelle mit einer Bandbremse versehen, die gleichzeitig mit angezogen wird. Beide Bremsen können auch von Hand bedient

werden und dienen dem Maschinenwärter zum Anhalten der Wagen an den Endstationen.

Die Turbine wurde von der Firma Breuier-Neyret in Grenoble nach dem schraubenförmigen Centripetal-System mit horizontaler Achse gebaut; sie kann 180 PS bei 500 Umdrehungen in der Minute mit einer Leistung von 75% liefern.

Die angewendete Dynamo liefert bei 3600 Volt Betriebsspannung 138000 Watt und hat bei voller Belastung einen Wirkungsgrad von 92%. Der Erregerstrom wird durch eine kleine, direkt gekuppelte zweipolige Gleichstrom-Dynamo für 50 Volt Spannung und 12 bis 15 Ampère geliefert. In der Station ist ein kleiner Transformator aufgestellt, welcher in eine der drei Phasen eingeschaltet ist, den Strom zur Beleuchtung der Station liefert und gleichzeitig als Messtransformator für die Spannung dient.

Die Luftleitung besteht aus drei blanken Siliciumbronze-Drähten von 4 *mm* Durchmesser von grosser Leistungsfähigkeit; dieselben werden von hölzernen Masten mit Doppelglocken-Porzellanisolatoren getragen und beträgt der Übertragungsverlust bei feuchter Witterung 8%, welcher sich in trockener Zeit auf 5% reduziert.

Die Empfangsstation ist am oberen Ende der geneigten Ebene gelegen, enthält den Elektromotor, eine Seiltrommel, über welche das Seil führt und die Geschwindigkeitsreduktionsorgane, welche die Bewegung des Motors auf die Seiltrommel übertragen.

An Fahrbetriebsmitteln sind zwei vierrädrige, 9 *m* lange und 2,4 *m* breite, aus vier Abteilungen und zwei Plattformen bestehende Personenwagen vorhanden, die an den beiden Enden des Seiles angehängt sind und bei einem Eigengewicht von 5,035 *t* einen Fassungsraum für 50 Personen haben. Die äusseren Räder besitzen doppelte Spurkränze, hingegen sind die inneren Räder mit einem platten Radkranze von 200 *mm* Breite versehen, um bei der Kreuzung den Übergang von einer Schiene zur anderen zu ermöglichen.

Die elektrische Seilbahn Rocca — Monreale bei Palermo führt mit einer scharfen Doppelkehre, den Bergen sich anschmiegend, in starker anhaltender Steigung nach dem ca. 20000 Einwohner zählenden Erzbischofssitz Monreale hinauf.

Wegen der starken Steigungen und engen Wegschleifen war die Führung der Bahn auf der vorhandenen Strasse ausgeschlossen und somit die Notwendigkeit der Schaffung eines eigenen Bahnplanums gegeben. Aber auch hierfür gab es in Anbetracht der örtlichen Verhältnisse keine andere Lösung, als eine Tracenführung, bei welcher auf etwa 1100 *m* Länge eine Steigung von 12% zu überwinden war. Solche Steigungen bieten bei der Anwendung von Zahnstangenbetrieb oder dergl. keine Schwierigkeiten und es

hätte demnach zu einer eigenartigen Lösung der Frage kein Anlass vorgelegen, wenn nicht Wert darauf gelegt worden wäre, dieselben Wagen, welche auf den fast horizontalen oder doch nur auf ganz kurze Strecken grössere Steigungen aufweisenden Strassen Palermos verkehren und demnach nur mit verhältnismässig schwachen Motoren ausgerüstet sind, von den städtischen Strecken nach Monreale durchlaufen zu lassen und so ein Umsteigen in Rocca am Fusse der Bergstrecke zu vermeiden.

Diese Aufgabe ist nun in folgender Weise gelöst worden:

Die die stärksten Steigungen von ca. 12% aufweisende Strecke wird in einer Länge von 1100 *m* als Seilbahn betrieben, wobei eine Art elektrischer Lokomotiven in Anwendung kommen. Es sind dies zweiachsige Fahrzeuge, deren Achsen durch einen Motor mit Schnecke angetrieben werden. Sie besitzen neben den bei elektrischen Motorwagen üblichen Bremsvorrichtungen auch eine Schienenbremse, welche die Schienenköpfe klauenartig umfasst und für gewöhnlich durch den Motorführer bethätigt wird. Bei einem etwa eintretenden Seilbruch wird dagegen automatisch ein Gewichtshebel ausgerückt, der die Bremse zur Wirkung bringt. Wegen dieser Einrichtung haben die Lokomotiven den Namen Bremswagen erhalten. Von diesen Bremswagen befinden sich zwei Stück auf der Strecke und sind je mit einem Ende des Stahlseiles fest verbunden, das am oberen Ende der Seilbahnstrecke über ein System von nicht angetriebenen Seilscheiben geführt ist.

Die Bremswagen befinden sich sowohl bei der Berg- wie bei der Thalfahrt stets vor dem Motorwagen, d. i. nach der Thalseite hin, sodass der bergauffahrende Motorwagen geschoben, der bergabfahrende von dem vor ihm befindlichen Bremswagen gestützt wird. Auf diese Weise ist eine Kuppelung zwischen dem Motorwagen und Bremswagen nicht erforderlich und eine grosse Betriebssicherheit vorhanden, indem das Durchgehen eines Motorwagens ausgeschlossen ist.

Damit nun beim Beginn und am Ende der Seilfahrt alle Rangierbewegungen und die damit verbundenen Aufenthalte vermieden werden, sind am Anfangspunkte der Seilstrecke zwischen den Fahrschienen durch Rampen zugängliche Gruben für die Bremswagen angeordnet. In diese Gruben können die auf schmalerer Spur (580 *mm*) fahrenden Bremswagen, deren grösste Breite zu diesem Zwecke geringer sein muss als die Spurweite der meterspurigen Bahn für die Motorwagen, hineinfahren, sodass der Motorwagen über den in der Grube stehenden Bremswagen hinwegfahren kann.

Der Vorgang beim Passieren der Seilstrecke ist demnach folgender:

Der von Rocca kommende Motorwagen A fährt über die Bremsgrube hinweg und macht unmittelbar hinter derselben für einen Moment Halt. Der von Monreale kommende Motorwagen B setzt sich hinter den oberen Bremswagen, fährt mit Strom langsam weiter und zieht, von dem Bremswagen unterstützt, den unteren Brems-

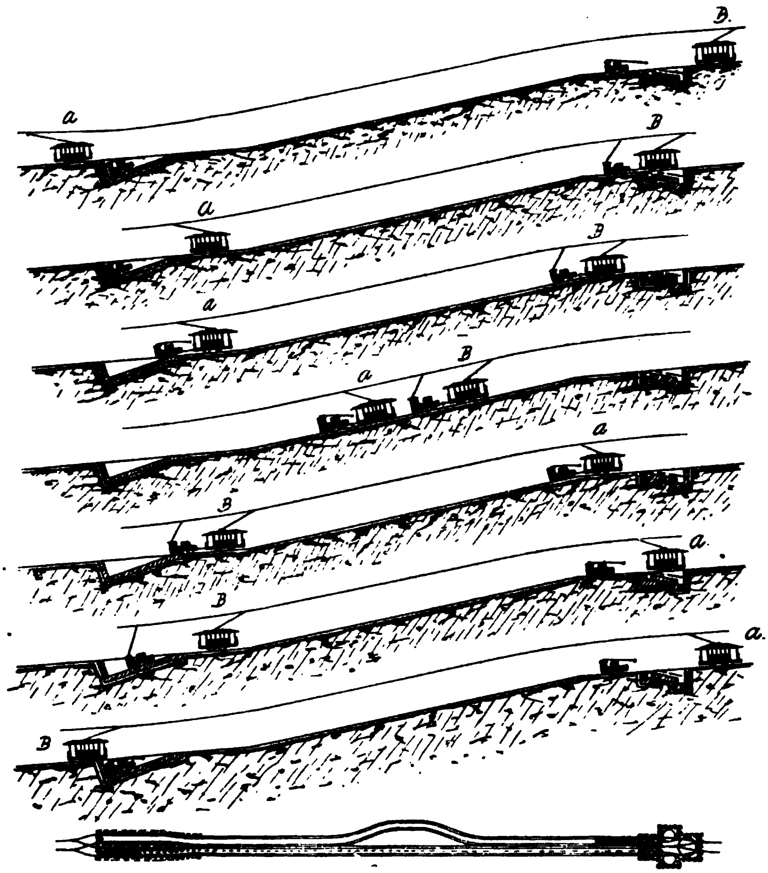


Fig. 43.

wagen aus seiner Grube heraus, bis diese sich hinter den Motorwagen A setzt, womit die eigentliche Seilfahrt beginnt (vergl. Fig. 43). Die einzelnen Bilder zeigen den weiteren Verlauf der Berg- bezw. Thalfahrt. In dem fünften Bilde ist der Moment dargestellt, wo der von Monreale kommende Wagen B unten und der von Rocca kommende Wagen A oben angelangt ist. Die letzten Bilder zeigen, wie der untere Bremswagen in der Grube verschwindet, um den Motor-

wagen B über sich hinweg nach Rocca weiter fahren zu lassen, während der nach Monreale fahrende Wagen A sich von seinem Bremswagen getrennt hat und auf der Adhäsionsstrecke allein weiterfährt. Nunmehr kann das Spiel von neuem beginnen.

Da aber auch diese oberhalb der Seilstrecke gelegene Adhäsionsstrecke, wie das Längenprofil zeigt, noch ziemlich erhebliche Steigungen aufweist, so ist zum Zwecke einer möglichst grossen Betriebssicherheit vor dem Beginn der Seilstrecke eine Weiche eingebaut, deren Grundstellung auf ein Stumpfgleis gerichtet ist, welches stark ansteigt und nach Art des Köpke'schen Sandgleises ausgebildet ist. In dieses Gleis würde der auf der Steigung von Monreale herabkommende Wagen hineinfahren, wenn etwa der Führer einmal die Herrschaft über den Wagen verlieren sollte.

Den Antrieb auf der Seilstrecke liefert, wie oben bereits angedeutet, der bergabfahrende Motorwagen in Verbindung mit seinem Bremswagen, da der bergauffahrende Zug nicht mit Strom fahren darf, weil sonst der Fall eintreten könnte, dass das Seil für einen Moment schlaff würde, was ein sofortiges Funktionieren der Notbremse zur Folge hätte.

Das Gewicht des Bremswagens beträgt 7,9 *t*, das des vollbesetzten Motorwagens 11 *t*. Motor- und Bremswagen fahren auf der oberen Station auf einer Steigung von 11,06 %, auf der unteren auf einer solchen von 12 % an. Der für den Betrieb ungünstigste und daher der Berechnung des Kraftbedarfes zu Grunde gelegte Fall ist der, dass der bergauffahrende, also gezogene Wagen, vollbesetzt, der bergabfahrende, also ziehende Wagen, leer ist. Bei der Annahme eines Bewegungswiderstandes von etwa 10 *kg* für die Tonne Wagengewicht werden durch den oberen Motor- und Bremswagen rund 1575 *kg* Zugkraft frei, während anderseits der bergauffahrende Brems- und Motorwagen unter der gleichen Annahme 2340 *kg* Zugkraft erfordert. Berücksichtigt man weiter die zu 520 *kg* ermittelte Reibung des Seiles und der Tragrollen, 100 *kg* für die Reibung an den Umlenkseilscheiben und 250 *kg* für die Seilbewegung selbst, so ergiebt sich für den bergabfahrenden Zug eine von den Motoren zu leistende Zugkraft von 1635 *kg*.

Die Fahrgeschwindigkeit auf der Seilstrecke beträgt 9 *km* in der Stunde.

Der Oberbau der Bahn besteht aus Vignolschienen auf eisernen Querschwellen. Da sich immer nur zwei Wagen gleichzeitig auf der Seilstrecke befinden, würde eine eingleisige Anlage mit einer Ausweiche in der Mitte genügt haben. Solche Anlagen bieten aber bezüglich der Führung des Seiles durch die Weichen gewisse Schwierigkeiten und um diese zu vermeiden, bezw. die Anlage so

betriebssicher wie irgend möglich zu machen, wählte man ein Mittelding zwischen einer ein- und zweigleisigen Bahn, indem man drei Fahrschienen anordnete, von denen die mittlere in zwei Richtungen befahren wird, sich aber dort, wo die Begegnung der Züge stattfindet, in zwei getrennte Schienen auflöst, sodass hier eine kurze zweigleisige Strecke vorhanden ist. Zwischen den Fahrschienen der Motorwagen, also dem eigentlichen Bahngleis von 1000 *mm* Spur, befindet sich das schmalere Gleis von nur 580 *mm* Spur für die Bremswagen.

Es sei noch erwähnt, dass die Anlage mit den nötigen elektrischen Signal- und Sicherheitseinrichtungen ausgerüstet ist, welche die Motorführer erkennen lassen, in welchem Augenblicke sie die verschiedenen Manöver für das Bremsen, Anhalten, langsame Anfahren u. s. w. auszuführen haben.

Die Bahn ist seit Anfang 1900 im Betriebe. Die Idee zu dem eigenartigen Seilbahnbetrieb stammt von dem Ingenieur Rademacher, dem die örtliche Bauleitung für die Palermitaner Strassenbahn oblag; der Bremswagen ist von der Elektrizitäts-Aktiengesellschaft vormals Schuckert & Co. in Nürnberg, die auch die gesamte elektrische Ausrüstung für die Palermitaner Strassenbahn und die Lichtcentrale daselbst ausgeführt hat, konstruiert worden, während die Seilbahn als solche von der Maschinenfabrik Esslingen, die schon eine grössere Anzahl ähnlicher Anlagen ausgeführt hat, stammt.

In Fig. 44 ist noch eine Ansicht der Bergbahn kurz vor der Übergangsstelle der oberen Adhäsionsstrecke zur Darstellung gebracht worden.

Einige weitere Seilbahnen mit elektrischem Betriebe sind namhaft zu machen: Davos-Platz — Schatzalp-Bahn, Vevey — Chardonne — Mt Pélerin-Bahn, Seilbahn Rigiviertel in Zürich.

5. Zahnradbahnen.

Die erste elektrisch betriebene Zahnradbahn, bei der die Motoren direkt mit dem Personen-Gefährt verbunden sind, ist die Barmer Bergbahn, welche im Jahre 1893 in Betrieb kam. Erbaut wurde diese Bahn von der Firma Siemens & Halske.

Dieselbe geht zum Teil auf öffentlicher Strasse, zum Teil auf eigenem Bahnkörper. Ihre grösste Steigung besitzt sie in der Louisenstrasse mit 1 : 5,4. Die kleinste Kurve hat 150 *m* Radius. Die Gesamtlänge beträgt 1630 *m* und die auf diese Länge erstiegene Höhe 170 *m*, sodass die mittlere Steigung $\frac{170}{1630}$ = rund $\frac{1}{10}$ beträgt. Die Bahn ist durchweg zweigleisig und mit 1 *m* Spurweite versehen.

Die Zahnstange liegt in der Mitte des Gleises und ist nach Riggenbachscher Konstruktion ausgeführt. Die Teilung der Zahnstange ist

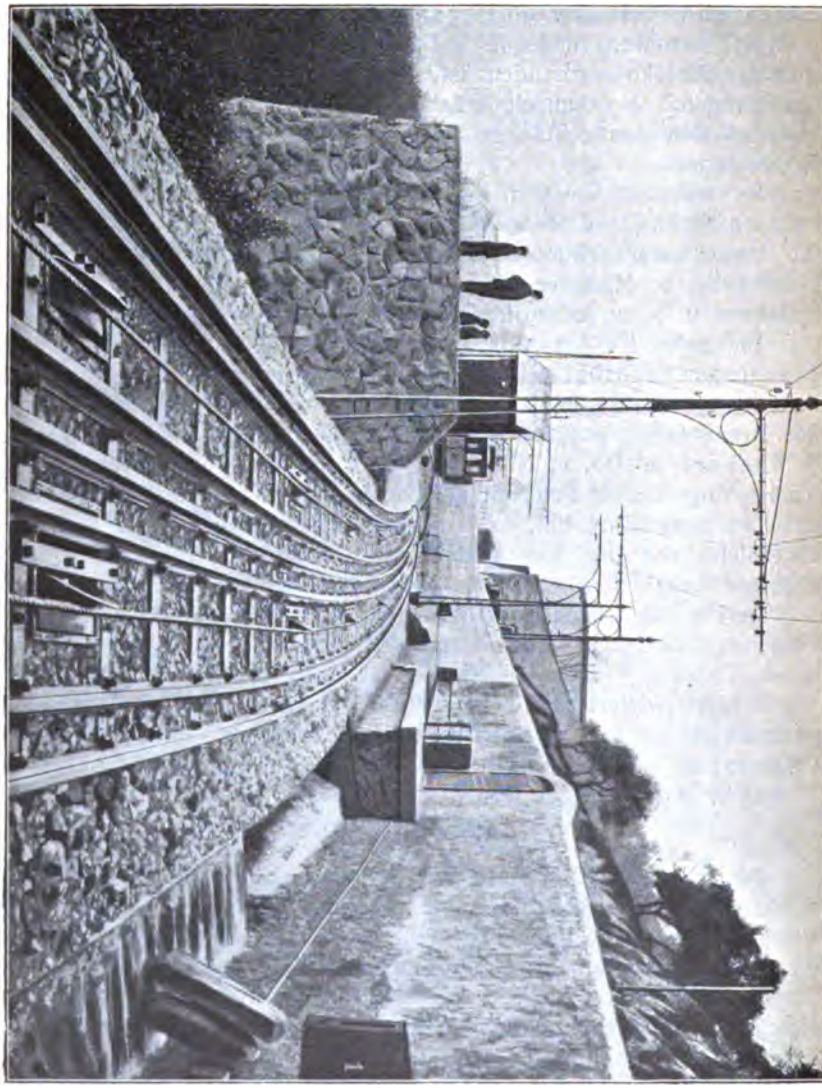


Fig. 44.

75 *mm*, Abstand der Wangeneisen 90 *mm*, Länge der Zahnstangenstücke 3 *m*. Für die in der gepflasterten Strasse liegenden Gleise ist Phönix-Rillenschiene zur Verwendung gelangt, während auf dem

eigenen Bahnkörper Vignolschiene verlegt ist. Aus Fig. 45 sind beide Schienenprofile nebst Zahnstangenquerschnitt ersichtlich.

Schienen und Zahnstange sind auf eisernen Querschwellen, deren Abstand durchgängig 1 *m* beträgt, gelagert. Um ein Abrutschen bezw. Thalwärtswandern des gesamten Oberbaues zu verhindern, ist die Schiene sowohl wie die Zahnstange mit Fussstützen, welche hinter die Schwellen greifen, versehen. In Abständen von 30—40 *m* sind je zwei Schwellen auf tief fundierten, kräftigen Widerlagsmauern verankert. Die 9 *m* langen Schienen sind mit ruhendem Stosse verlegt, während die Zahnstange schwebenden Stoss erhalten hat. Das Umsetzen der Wagen auf den Endstationen geschieht mittels elektrisch angetriebener Schiebebühne.

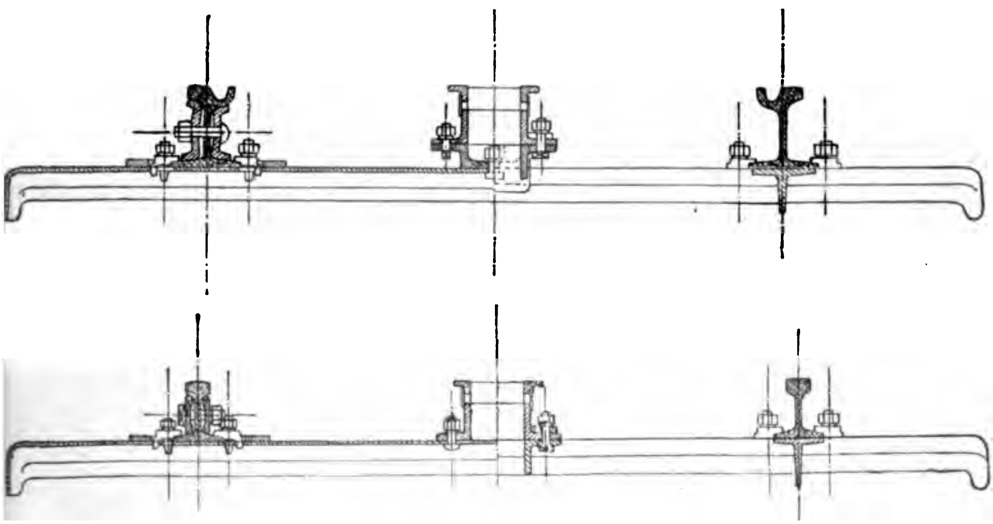


Fig. 45.

Die zweiachsigen Personenwagen von 13 *t* Eigengewicht sind für 28 Sitzplätze und 6—8 Stehplätze eingerichtet, sind 8 *m* lang und 2,45 *m* breit. Das auf jeder Achse sitzende Hauptzahnrad wird mittels Zahnradübersetzung von je einem vierpoligen 80 PS-Nebenschluss-Elektromotor angetrieben. Jedes Zahnrad besitzt selbständige Bremsvorrichtungen, welche von den Plattformen aus bedient werden können. Unter dem Wagen ist noch eine selbstthätige Geschwindigkeitsbremse angebracht. Die hierzu erforderliche Bremskraft ist in einer gespannten Feder, deren Hemmung durch einen Centrifugal-Regulator ausgelöst wird, aufgespeichert.

Schliesslich haben die Wagen noch eine Sicherheitsbremse für den Fall, dass beide Zahnstangenräder gleichzeitig brechen sollten,

und zwar wirkt diese Bremse durch Reibung, indem sich ein Keil vor die Räder legt.

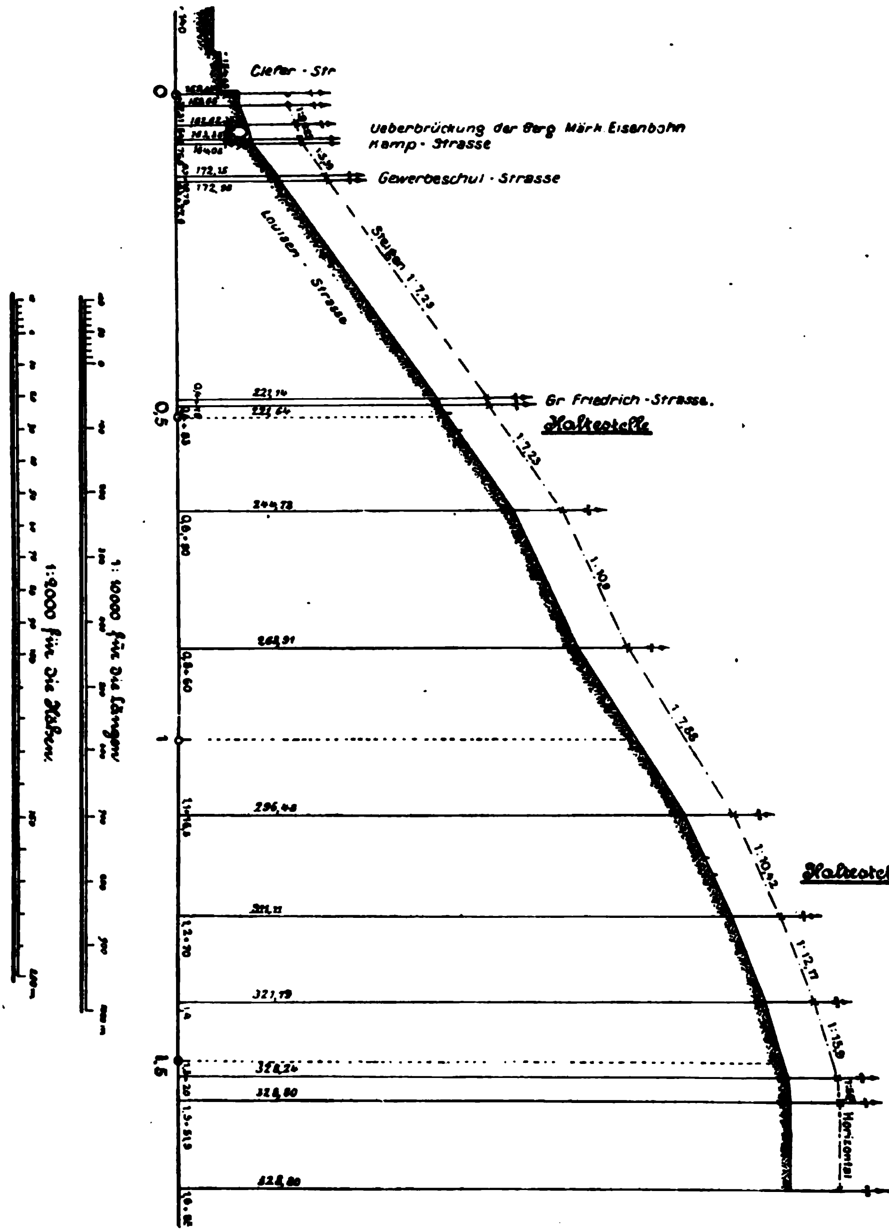


Fig. 46.

Neben diesen mechanischen Bremsen wirkt gewissermassen die hier zum erstenmal mit Erfolg angewandte Stromwiedergewinnung des bergabfahrenden Wagens als nutzbringende Bremsung. Durch entsprechende Schaltung der Motoren wird bei konstanter Thalfahrtgeschwindigkeit ein Strom von stets gleicher Spannung, d. h. von 500 Volt, erzeugt, welcher durch die Leitung dem bergfahrenden Wagen bezw. der Kraftstation zu Hilfe kommt und wodurch sich 50 % Arbeitswiedergewinnung ergeben haben sollen.

Die Stromzuführung erfolgt durch oberirdisch geführten Fahrdraht, wobei in ganz besonders hohem Masse auf Verankerungen des Fahrdrahtes Rücksicht genommen werden musste.

Eine für die Betriebssicherheit bei Bergbahnen ungemein wichtige Frage ist diejenige der Kontaktgebung. Rollen sind zu verwerfen, da dieselben entgleisen können und dann der Wagen lediglich den Bremsvorrichtungen überlassen bleiben muss. Der Bügelkontakt bietet hierin die denkbar grösste Zuverlässigkeit und ist hier mit bestem Erfolge angewandt worden. Wäre z. B. die übliche Rolle benutzt worden, so hätte beim Entgleisen derselben der Fall eintreten können, dass der Wagen so lange abrollt, bis dem Wagenführer die Unregelmässigkeit zum Bewusstsein kommt, was aber schon einen Unglücksfall im Gefolge haben kann.

Der Höhenplan der Barmer Bergbahn ist durch vortsehende Fig. 46 dargestellt.

Die Maschinenanlage zur Erzeugung des Betriebsstromes von 500 Volt befindet sich in den Erdgeschossräumen des unteren Bahnhofes und ist in Fig. 47 schematisch dargestellt. Die Station dient zugleich zum Betriebe mehrerer Strassenbahnen zwischen Barmen und einigen Vororten.

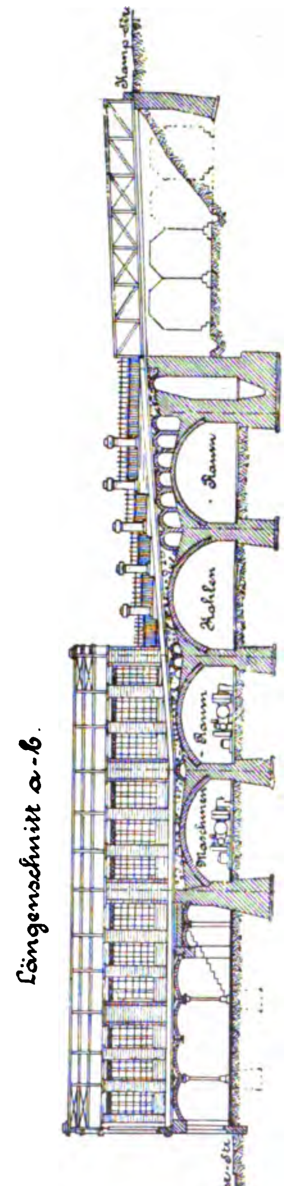


Fig. 47.

Die photographische Ansicht eines in der Bergfahrt befindlichen Wagens jener Bahn ist in Fig. 48 dargestellt. Die für die Bergfahrt falsch stehenden Bügel sind dadurch in die nach vorn geneigte Stellung gekommen, dass beim Stellungnehmen für den Photographen der Wagen hin und her verschoben werden musste. Das Bild giebt Zeugnis von der leichten und selbstthätigen Umlegbarkeit des Bügelkontaktes und der Unmöglichkeit einer Kontaktentgleisung.

Die ebenfalls elektrisch betriebene reine Zahnradbahn auf dem Gornergrat wurde im Jahre 1898 dem Verkehr übergeben und bildet eine Verlängerung der im Rhonethale nach Zermatt führenden vereinigten Adhäsions- und Zahnradbahn.

Da genügende Wasserkräfte an der Bahnlinie zur Verfügung stehen, wurde der elektrische Betrieb als der billigste ausersehen und Drehstrom als die wirtschaftlich günstigste Lösung erkannt. Man hatte sich hier die bei der Mont-Salève-Bahn gemachten Erfahrungen zu Nutze gemacht. Die gesamte Bahnstrecke ist 9,2 *km* lang und überwindet auf dieser Länge einen Höhenunterschied von 1411 *m*, während die grösste Steigung 20% nicht überschreitet.

Die Bahn hat 1 *m* Spurweite. Die Laufschienen sind Vignolschienen von 100 *mm* Höhe und liegen auf 1,7 *m* langen eisernen Querschwellen, die mit 850 *mm* Teilung in einer rund 300 *mm* hohen Schotterschicht gelagert sind. Zwischen den Laufschienen ist eine doppelte Zahnstange nach der Bauart Abt verlegt. Der Bahnunterbau wird fast durchweg von festem Felsboden gebildet.

Die Grösse der zum Betriebe erforderlichen Kraft wurde auf Grund folgender Betrachtungen festgestellt. Das Gewicht eines Zuges, bestehend aus einer elektrischen Lokomotive, zwei Personenwagen (einem geschlossenen und einem offenen) und 110 Personen wurde zu $10{,}550 + 5{,}200 + 4{,}000 + 110 \cdot 0{,}075 = 28\ t$ angenommen, desgleichen der gesamte Zugwiderstand auf ebener Strecke zu 14 *kg/t* und die Fahrgeschwindigkeit auf der grössten Steigung von 20% = 1 : 5 zu 2 *m*/Sek. oder 7,2 *km*/Std. Es berechnet sich alsdann der Zugwiderstand auf

$$Z = 28 \cdot \left(14 + \frac{1000}{5}\right) \cong 6000\,kg,$$

und die Zugleistung auf

$$\frac{6000 \cdot 7{,}2}{3{,}6} \cdot \frac{1}{75} = 160\ \text{PS}$$

oder, unter Berücksichtigung eines Wirkungsgrades der Lokomotive von nur 85%, zu rund 180 PS für einen Zug. Unter der Annahme, dass zu gleicher Zeit immer zwei Züge in der Auffahrt begriffen sind, müssten zur Abgabe an die Motoren $2 \cdot 180 = 360$ PS zur

Verfügung stehen. Unter fernerer Berücksichtigung der Verluste in den Stromerzeugern, Speiseleitungen, Umformern, Kontaktleitungen und den Motoren ergab sich die Notwendigkeit, die Kraftanlage für eine Leistung von rund 500 PS einzurichten und noch eine Reserve vorzusehen.

Drei durch Turbinen angetriebene Dynamos von je 250 PS sind in der Kraftstation aufgestellt, von denen eine als Aushilfe dient. Ausserdem ist das Fundament für eine vierte Maschine schon vorgesehen. Die Turbinen mit wagerechter Achse machen 400 Minuten-Umdrehungen und sind mittels elastischer Kuppelungen unmittelbar mit den Dynamos verbunden.

Da es im Betriebe jederzeit vorkommen kann, dass die in der Auffahrt begriffenen beiden Züge gleichzeitig anfahren oder anhalten, so ist es nicht ausgeschlossen, dass die Belastung plötzlich zwischen 0 und 500 PS schwankt. Es war daher von grösster Wichtigkeit, für eine selbstthätige, sicher wirkende Regelung der Geschwindigkeit zu sorgen. Die Turbinen sind daher mit ganz besonders empfindlichen hydraulischen Regulatoren ausgerüstet, desgleichen die Druckleitungen mit selbstthätig wirkenden Auslassventilen u. s. w. Aus demselben Grunde sind auch die Erreger nicht unmittelbar mit den Turbinen verbunden, sondern es werden die beiden kleinen Gleichstrom-Dynamos durch zwei besondere kleine Turbinen von je 15 PS und 900 Minuten-Umdrehungen angetrieben.

Die Stromerzeuger sind zwölfpolig, der Strom hat daher 40 Perioden in der Sekunde. Die von den Maschinen erzeugte Spannung beträgt 4500 Volt und wird in drei Umformerstationen auf die für die Fahrleitung notwendige Spannung von rund 540 Volt vermindert. Die Umformer besitzen eine Kapazität von je 180 Kilowatt. Die beiden Fahrdrähte für die Bahnlinie haben 8 *mm* Durchmesser, sie liegen in einem Abstande von 400 *mm* und werden alle 20—30 *m* durch Querdrähte getragen.

Die Umdrehungszahl der Turbinen zwischen Leerlauf und voller Belastung schwankte nur um 1 %, während sie sich bei plötzlicher Be- oder Entlastung von 0 auf 250 oder von 250 auf 0 PS um nicht mehr als 2 % veränderte.

Die von der Schweizer Lokomotivfabrik zu Winterthur gelieferten elektrischen Lokomotiven sind mit je zwei Motoren ausgerüstet, die bei 540 Volt Spannung in der Fahrleitung und bei 800 Minuten-Umdrehungen je 90 PS, also zusammen 180 PS, leisten. Beide Motoren arbeiten vollkommen unabhängig voneinander; sie sitzen fest auf dem Rahmengestell und arbeiten mittels eines zweifachen Rädervorgeleges, das ein gesamtes Übersetzungsverhältnis von 1 : 12 aufweist und doppelt angeordnet ist, auf die Triebachsen der Zahn-

räder. Fig. 48a zeigt das Untergestell der Lokomotive, bei welchem der eine Motor abgehoben ist. Die Motoren sind asynchrone Dreiphasenstrom-Motoren mit gewickelten Ankern und Schleifringen; sie sind sechspolig und machen bei 40 Perioden in der Sekunde 800 Minuten-Umdrehungen. Sie sind imstande, nicht nur bei gewöhnlichem Stromverbrauch unter der vollen Last, sondern auch bei bedeutenden Überlastungen — im letzteren Falle natürlich unter grösserem Stromverbrauch — anzulaufen. Bei der normalen Fahrgeschwindigkeit von 7 *km*/Std. ist das Übersetzungsverhältnis zur Achse 1 : 12 und es beträgt die Zugkraft am Zughaken rund 6000 *kg*.

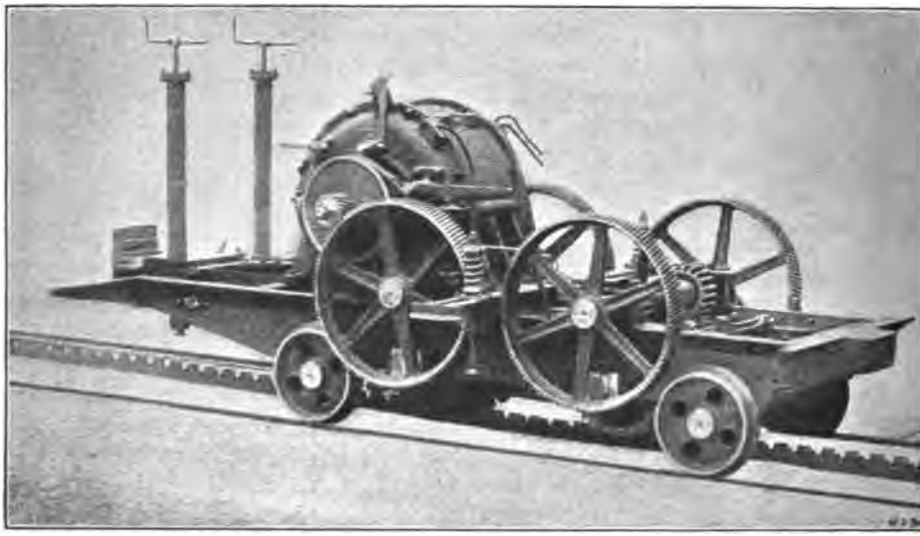


Fig. 48a.

Über den Motoren liegt in einem Gehäuse der für beide Motoren gemeinschaftliche Widerstand. Über dem Widerstand sind der Umschalter, sowie die zum Betriebe nötigen Sicherheits- und Kontrollvorrichtungen untergebracht. Oberhalb des Daches endlich sind mit Rücksicht auf die grossen Stromstärken zwei Stromabnahmevorrichtungen angeordnet.

Zur Sicherung des Betriebes dienen zwei vollständig getrennte Bremssysteme. Einmal können beide Treibachsenbremsen, und zwar unabhängig voneinander, vermittels zweier Kurbeln von Hand bethätigt werden; dann sind noch beide Motoren mit Bremsscheiben und Bandbremsen ausgerüstet, die auf drei Arten in Wirksamkeit treten:

1. von Hand,

2. selbstthätig, sobald der Wagen eine gewisse Fahrgeschwindigkeit überschreitet, und

3. sobald aus irgend einem Grunde der Strom unterbrochen wird.

Letztere Wirkung wird durch ein Solenoïd erreicht, das, solange es vom Strom durchflossen wird, die Bremse gelöst hält, sie jedoch sofort anzieht, sobald die Stromzufuhr aufhört.

Was nun die Schaltung der Motoren anbelangt, so ist darüber für die Bergfahrt nichts besonderes zu sagen. Anders steht es aber damit für die Thalfahrt, für die zwei Schaltungsarten möglich sind. Einmal kann man die Motoren wie für die Bergfahrt schalten und alsdann soviel Widerstände einschalten, dass die gewünschte Fahrgeschwindigkeit nicht überschritten wird, oder aber man schaltet die Motoren richtig für die Thalfahrt mit kurz geschlossenen Motorwickelungen.

Für den Fall, dass nur zu Thal fahrende Züge auf der Strecke verkehren, die Kraftstelle also mehr Strom aufzunehmen als abzugeben hätte, könnte es vorkommen, dass die Dynamos und Turbinen eine gefährliche Geschwindigkeit annehmen würden. Um das zu verhindern, wird im Krafthaus, sobald die Turbinen eine gewisse Höchstgeschwindigkeit überschreiten, ein elektrischer Belastungswiderstand (Wasserwiderstand) selbstthätig eingeschaltet.

Aus den Versuchen, welche angestellt wurden, hat sich ergeben, dass die Wiedergewinnung der Energie beim Thalwärtsfahren der Züge nicht nur theoretisch vorhanden ist, sondern wirklich von praktischem Werte sein kann. Ein vollständig belasteter, in der Steigung befindlicher Zug wurde auf Thalfahrt geschaltet, wobei sämtliche Bremsen geöffnet waren. Der Zug nahm alsbald die normale Geschwindigkeit von 7 *km* an, welche nicht überschritten wurde. Die notwendige Belastung der Centrale wurde durch den Flüssigkeitswiderstand bewirkt. Weitere Versuche haben ergeben, dass die Lokomotive mit vollbelastetem Zug auf allen Steigungen leicht anläuft und dass dieses Anlaufen in sanfter Weise ohne Stösse vor sich geht. Die Geschwindigkeit des Zuges bleibt sowohl auf der Horizontalen als auch auf den Steigungen stets konstant, ohne dass der Zugführer irgend etwas an den Schaltungen zu verändern hätte. Der Betriebsdienst ist daher sehr einfach.

Ein Leitungsschema für die Lokomotiven giebt Fig. 49 wieder, während Fig. 50 die Leitungsanordnung darstellt.

Das Eigengewicht der Lokomotive beträgt 10,55 *t*, das Führerhaus hat eine Länge von 3,800 *m*, der Radstand beträgt 2,140 *m*.

Die elektrischen Einrichtungen dieser Bahn wurden von der Firma B r o w n, B o v e r i & C i e., B a d e n, geliefert.

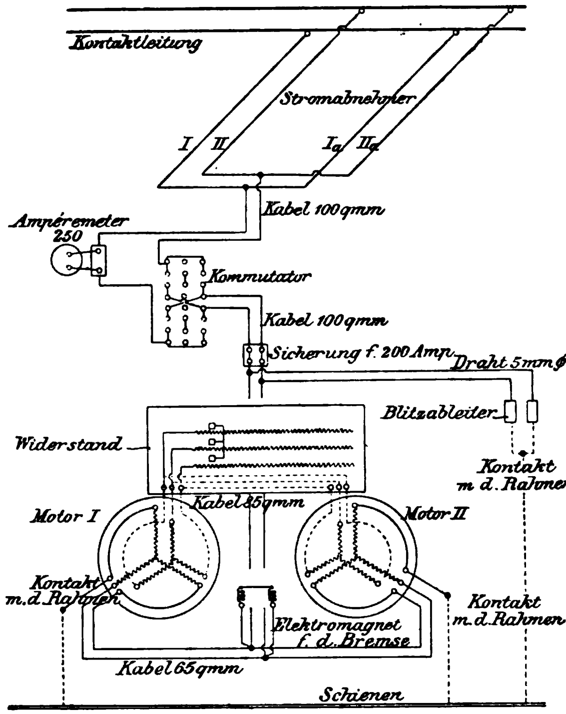

Kontaktleitung
Stromabnehmer
I
II
Ia
IIa
Kabel 100 qmm
Ampéremeter
250
Kommutator
Kabel 100 qmm
Sicherung f. 200 Amp.
Draht 5 mm Ø
Blitzableiter
Widerstand
Kontakt
m. d. Rahmen
Kabel 25 qmm
Motor I
Motor II
Kontakt
m. d. Rahmen
Kontakt
m. d. Rahmen
Elektromagnet
f. d. Bremse
Kabel 65 qmm
Schienen

Fig. 49.

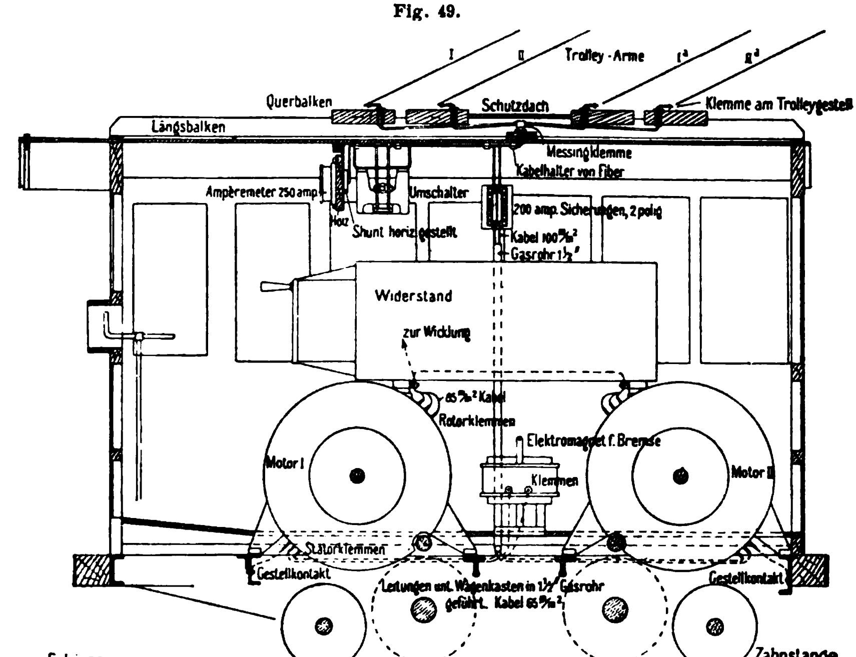

Trolley-Arme
Querbalken
Schutzdach
Klemme am Trolleygestell
Längsbalken
Messingklemme
Kabelhalter von Fiber
Ampèremeter 250 amp.
Umschalter
Holz
Shunt horiz. gestellt
200 amp. Sicherungen, 2 polig
Kabel 100 m/m²
Gasrohr 1½"
Widerstand
zur Wicklung
65 m/m² Kabel
Rotorklemmen
Elektromagnet f. Bremse
Motor I
Klemmen
Motor II
Statorklemmen
Gestellkontakt
Leitungen unt. Wagenkasten in 1½" Gasrohr geführt. Kabel 65 m/m²
Gestellkontakt
Schiene
Zahnstange

Fig. 50.

Die Bahn besitzt geschlossene und offene Personenwagen mit Quersitzen, sowie Güterwagen. Die geschlossenen Personenwagen von 5,2 *t* Eigengewicht fassen 60 Personen. Die Wagenkasten der

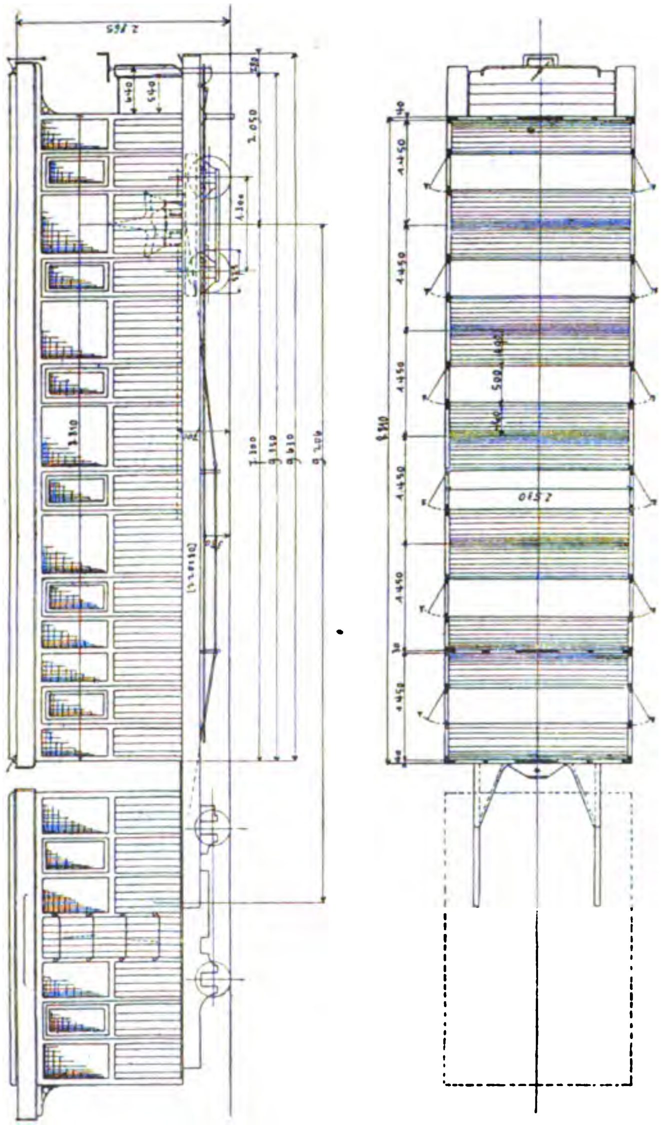


Fig. 51.

Personenwagen ruhen an einem Ende auf einem zweiachsigen Drehgestell, mit dem anderen Ende stützen sie sich auf die Lokomotive selbst, wie dies Fig. 51 erkennen lässt. Es wird hierdurch einerseits

das Gesamtzuggewicht verringert, anderseits aber der Achsdruck der Lokomotiven verstärkt, sodass die Zahnräder weder entgleisen, noch aus der Zahnstange aufsteigen können. Die geschlossenen Wagen enthalten sechs Abteile zu je zehn Sitzplätzen.

Die Lokomotive und Wagen, sowie sämtliche Stationen besitzen elektrische Beleuchtung. Für die Stationen kommen kleine Transformatoren in Anwendung, welche die Spannung von 540 Volt auf die normale Lampenspannung reduzieren. Die Beleuchtung des Rollmaterials ist von der Fahrleitung abgezweigt, wobei je drei Lampen in Serie geschaltet sind.

Die wohl genialste und kühnste Bergbahn ist die Jungfrau-Bahn. Sie beginnt an der kleinen Scheidegg (Station der Wengeralp-Bahn), geht anfangs eine kurze Strecke oberirdisch, später nur noch durch gewölbte Tunnel, durchschneidet den Eiger, Mönch und den Gipfel der Jungfrau und endet in einem 100 *m* hohen Vertikalaufzug. Die grösste Steigung beträgt 250 ‰ oder 1 : 4.

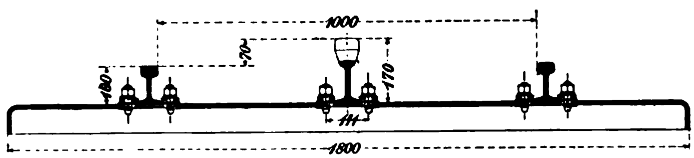


Fig. 52.

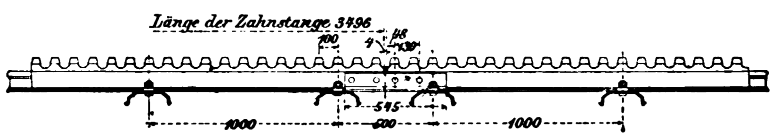


Fig. 52a.

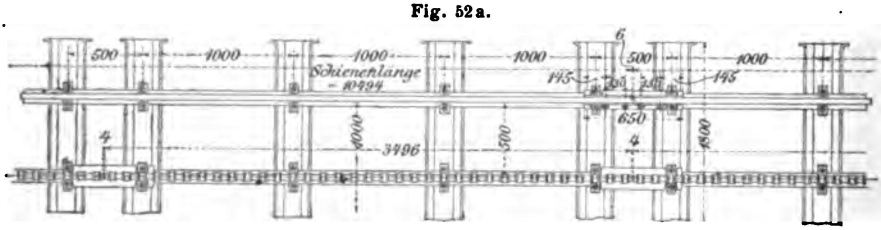


Fig. 52b.

Die Bahn ist erst zum Teil eröffnet und geht ihrer Bauvollendung in der oberen Strecke entgegen.

Die Bahn ist eingleisig mit 1 *m* Spurweite. Der kleinste Kurvenhalbmesser beträgt in den Weichen 80 *m*, auf der offenen Strecke 100 *m*, in den Tunneln aber 200 *m*. Der Bahnoberbau ist, was die Zahnstange anbetrifft, nach einem neuen System entworfen. (Vergl. Fig. 52, 52a und 52b.)

Die flusseisernen Schwellen von 1,8 *m* Länge wiegen je 37 *kg* und sind mit 1 *m*, in den Stössen mit 0,5 *m* Teilung verlegt. Die Laufschienen aus Flussstahl haben 10,5 *m* Länge und sind 100 *mm* hoch; sie wiegen 20,6 *kg/m* und sind durch Klemmplatten befestigt. (Vergl. Fig. 53.) Die Schienenstösse sind schwebend mit beiderseits eingeklinkten Winkellaschen. Die Schienen sind unter 45° abgeschnitten, damit die Stösse sanfter befahren werden.

Die aus einem Stücke gewalzte Zahnstange (Fig. 54) ist mit dem normalen Schienenfusse versehen, sodass sie gleich einer Schiene mit normalen Klemmplatten und Schrauben befestigt wird.

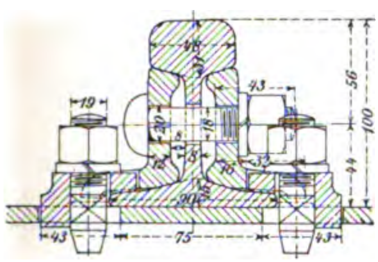


Fig. 53.

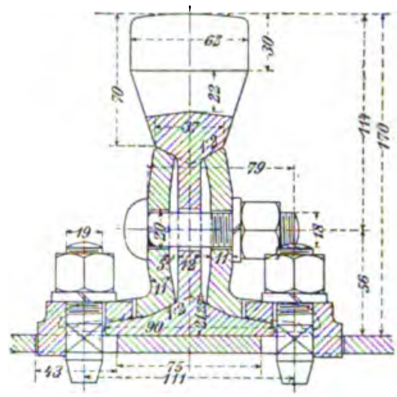


Fig. 54.

Das Material hat 45 *kg/qmm* Zugfestigkeit und 20 % Dehnung. Die Schiene wiegt im fertigen Zustande 34 *kg/m*. Die Zähne sind durch Bohren, Sägen und Fräsen hergestellt worden und haben die in Fig. 55 dargestellte Form.

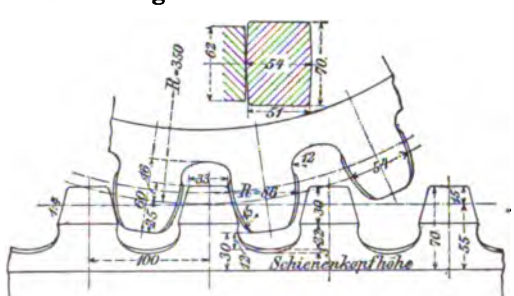


Fig. 55.

Die Vorteile dieser Zahnstange sollen in billiger Herstellung, einzig dastehender Einfachheit, der Möglichkeit, sie leicht jedem Krümmungshalbmesser anzupassen und besonders in der Gewährleistung eines sicheren Betriebes bestehen. Durch die eigentümliche Kopfform ermöglicht diese Zahnstange, Zangenbremsen anzuwenden, die bei leichtester Handhabung sowohl seitliches Entgleisen als auch Abheben, oder — besser gesagt — Auflaufen der Zahnräder sicher verhindern. Ein weiterer Vorzug dieser Strub'schen Zahnstange liegt in der Möglichkeit, sie leicht reinigen zu können; allerdings muss sie, wie die Abt'sche Zahnstange, freiliegend sein und kann

nicht, wie die Riggenbach'sche, im Plaster eingebettet werden. Der vollständige Oberbau wiegt 125 *kg/m*.

Die Maschineneinheit der Kraftstationen wurde zu 500 PS festgesetzt und zwar auf Grund folgender Annahmen: Der normale Zug soll aus einem vereinigten Motor- und Personenwagen von 15 *t* Gewicht, einem Anhängewagen von 5,4 *t* und einer Belastung von 80 Personen = 5,6 *t* bestehen, zusammen also 26 *t* wiegen. Ein solcher Zug soll in dem Tunnel auf der grössten Steigung von 250 ‰ mit 8,5 *km*/Std. Geschwindigkeit befördert werden, wofür eine Zugleistung von $\frac{26\,(250 + 10) \cdot 8{,}5}{3{,}6 \cdot 75} = 212$ PS zu rechnen ist.

Des weiteren wurden an Wirkungsgraden angenommen:

	für die Motoren mit Übersetzung	0,70
	» » Sekundärleitung und die Umformer	0,84
	» » Primärleitung	0,92
und	» » Dynamos	0,93

oder zusammen 0,50, sodass sich die Leistung an einer Turbinenwelle zu rund 425 PS bestimmte, wofür aus Sicherheitsgründen 500 PS gewählt wurden, insbesondere auch wegen der noch offen stehenden Frage der Beleuchtung und Heizung von Wagen und Stationen.

Von der Kraftstation führt die Primärleitung mit 7000 Volt Spannung möglichst unmittelbar nach der Station Klein-Scheidegg, wo der Strom auf 500 Volt umgeformt wird.

Die elektrischen Lokomotiven sind mit den Wagen kurvenbeweglich verbunden. Das Gewicht der Lokomotive allein beträgt 12 *t*. Nach der Berechnung des Zahndruckes beim raschen Bremsen könnte die aufwärts gerichtete Seitenkraft die Belastung der oberen Achse überschreiten, was trotz der Anwendung von Zangenbremsen unzulässig wäre und deshalb zur Kombination der Lokomotive mit dem Wagen führte. Es ist klar, dass man hierdurch grosse Betriebssicherheit bei geringem Gewicht und grosse Bremsleistung erreicht. Der Wagen lässt sich zur leichteren Vornahme von Reparaturen bequem von der Lokomotive trennen; er braucht keine Bremsen, da die Lokomotive mit solchen genügend ausgerüstet ist. Die Erschütterungen werden nicht auf den Wagen übertragen, und die gelenkige Verbindung beider Fahrzeuge giebt eine gute Kurvenbeweglichkeit.

Die Lokomotive (Fig. 56) ruht auf zwei Tragachsen mittels ziemlich steif abfedernden Spiralfedern. Dies Federspiel ist nach oben und unten durch Anschläge auf 10 *mm* begrenzt. Der Rahmen ist wie ein gewöhnlicher Lokomotivrahmen aus Blechen und Façoneisen von bestem Flusseisen gebaut und nimmt zwischen den Trag-

achsen die zwei Zahntriebachsen auf. Zwei Elektromotoren mit 800 Umdrehungen und je 150 PS treiben jeder mittels Zahnradübersetzung, welche symmetrisch beidseitig der Motoren angeordnet

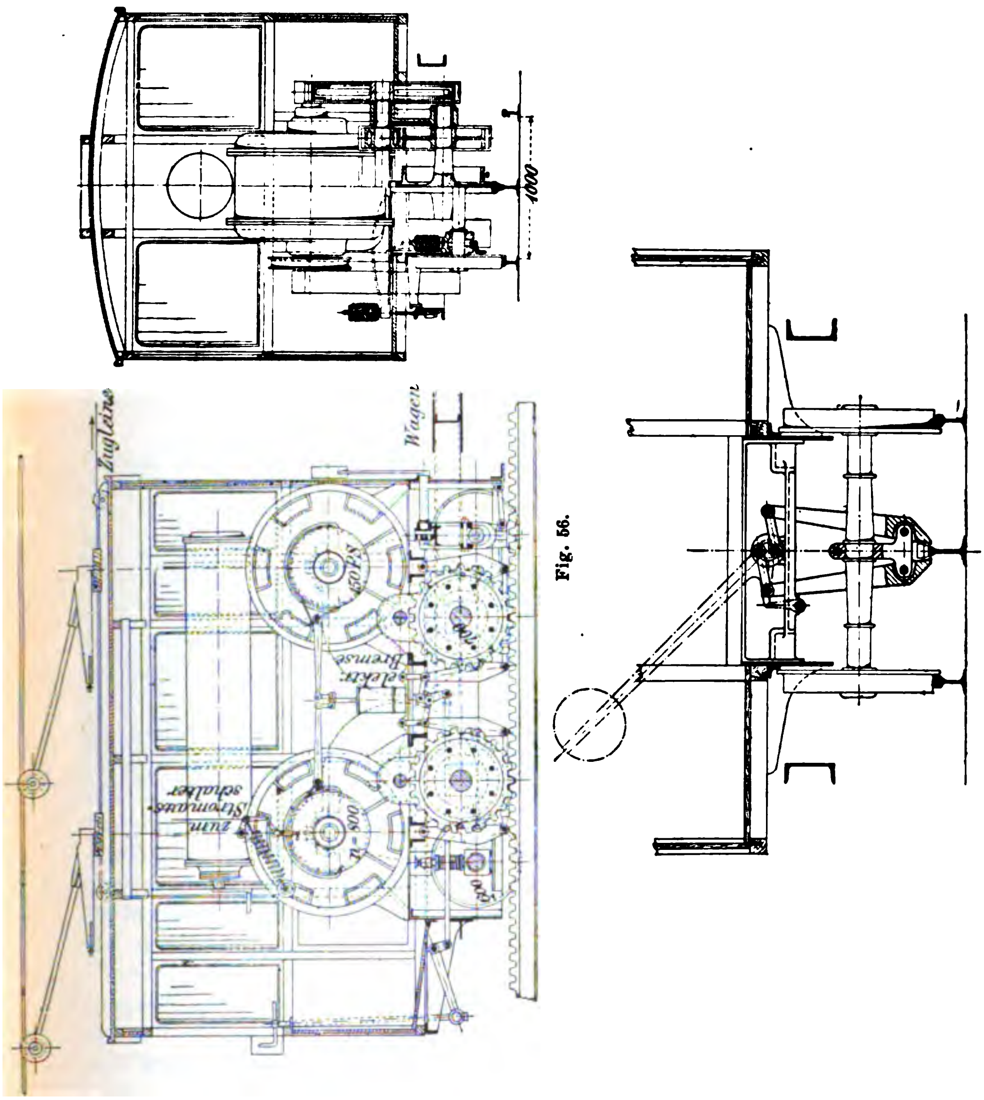


Fig. 56.

sind, die Zahntriebachsen. Diese Höchstleistung von 300 PS entspricht etwa 285 Kilowatt oder etwa 235 Ampère in jeder Phase der verketteten Spannung von 500 Volt des Betriebsstromes. Zu den

Ankerzahnrädern ist Aluminiumbronze, zu den grossen Stirnrädern Stahlguss und zu den Triebzahnrädern geschmiedeter Gussstahl von 75 *kg/qmm* Festigkeit bei 12 % Minimaldehnung verwendet worden. Die Übersetzungsräder sind nur mit 45 *mm* Teilung ausgeführt und symmetrisch schief geschnitten, sodass ein ruhiger Gang bei aufgehobenem Seitendruck gesichert ist. Die Triebzahnräder sind möglichst gross gewählt, um einen sicheren Zahneingriff und geringe Zahnabnutzung zu erzielen.

Das Führerhaus ist geschlossen und wegen der tiefen Temperaturen in Holz konstruiert. Die Lokomotive hat folgende Bremsen:

1. An der Motorwelle eine elektrische Bremse, welche in Thätigkeit tritt, sobald der Strom durch die Motoren geht. Diese Bremse ist mit einem elektrischen Regulator in dem Sinne kombiniert, dass derselbe, wenn die Maschine aus irgend einem Grunde zu schnell laufen sollte, den Strom unterbricht und dadurch die elektrische Bremse auslöst. Der Strom kann auch von der oberen Wagenplattform aus mittels Zugleine unterbrochen, bezw. die Bremse in Thätigkeit gesetzt werden.

2. Eine Handbremse wirkt mittels Hebelübersetzung auf je eine Bremsscheibe an dem Triebzahnrad. Die Bremsklötze sind in Bronze ausgeführt.

3. Eine Schienenzangen-Hebelbremse. Diese Notbremse soll sowohl vom Führer, als auch von dem auf der oberen Plattform stehenden Schaffner in Thätigkeit gesetzt werden können. Die Zangenbremse kann auch als Regulierbremse benutzt werden, um damit bei zufälliger Stromunterbrechung die Thalfahrt fortsetzen zu können. Die Zangenbremsen tragen Bronzesohlen.

Die Jungfrau-Bahn-Lokomotive mit 6600 *kg* Zugkraft ist die stärkste aller bisher ausgeführten elektrischen Zahnrad-Lokomotiven.

Die Ladefläche der zwei offenen Güterwagen ist 2 *m* breit und 4 *m* lang. Das Eigengewicht beträgt 2600 *kg*, die Tragfähigkeit 8000 *kg*; infolge hiervon ist das Verhältnis der toten Last zur Nutzlast nur 32 %. Alle Wände sind zum Wegnehmen, die Seitenwände ausserdem zum Niederklappen, und es können die Wagen als Plattform und für Transporte von Schienen, Stangen und dergl. als Schemelwagen benutzt werden.

Der Wagen hat kein Zahnrad, sondern nur eine kräftige Zangen-Handbremse.

In Fig. 57 ist der Bauzug auf der freien Strecke veranschaulicht.

An der Ausführung der Wasserwerk- und elektrischen Anlage nehmen teil: Rieter & Cie., Escher, Wyss & Cie., Maschinenfabrik Oerlikon und Brown, Boveri & Cie. Die Lokomotiven liefert die Schweizer Lokomotivfabrik und die Güterwagen die Giesserei Bern.

Über die örtlichen Verhältnisse der Jungfrau-Bahn siehe auch Z. d. V. d. Ing. 1898, Heft 35; ETZ 1897, Heft 33; Schmalspurbahn 1897, Heft 15; Schweizerische Bauzeitung 1897.

Die schweizerische im Engelbergthal gelegene Drehstrombahn Stansstadt—Engelberg, welche eine kombinierte Adhäsions- und Zahnradbahn ist, wurde im Jahre 1898 eröffnet und dient vornehmlich dem Touristenverkehr. Die Anlage dieser Dreiphasen-Wechselstrombahn verdient Beachtung, einmal, weil sich die Bahn in Form



Fig. 57.

und Betriebsverhältnissen ihrer Wagen bereits dem Typus einer Normalspurbahn nähert und weil anderseits der Ausführung derselben sich eine Reihe von Schwierigkeiten entgegenstellte, deren Überwindung in der Art, wie dies geschah, einiges Interesse bietet.

Ursprünglich war dem Projekte die Verwendung des Gleichstromsystems zu Grunde gelegt worden.

Das Rollmaterial ist von der Schweizerischen Lokomotiv- und Maschinenfabrik in Winterthur und der Schweizerischen Industriegesellschaft in Neuhausen geliefert worden, während die vollständige elektrische Ausrüstung der Firma Brown, Boveri & Cie. in Baden übertragen war.

Die Bahn zieht sich auf eigenem Bahnkörper mit 1 *m* Spurweite vom Dampfschiff-Landungsplatz in Stansstadt durch eine ebene Gegend nach der Ortschaft Stans. Die Bahn wendet sich hinter Stans gegen Oberdorf und folgt hierauf dem linken Ufer der Engelberger Aa; hinter der Station Dallenwyl überschreitet die Bahn das genannte Gewässer mittels einer 35 *m* langen Fachwerkbrücke, um sich über Wolfenschiesen nach Grafenort zu ziehen. Hier beginnt die erste Steigung von maximal 50 $^0/_{00}$; nachdem der Kaltebach mit einem Viadukt überschritten, gelangt man nach der Kraftstation Obermatt, wo die 1,5 *km* lange Zahnradstrecke mit einer Steigung von 250 $^0/_{00}$ ihren Anfang nimmt. In der Mitte derselben liegt die Haltestelle Grünenwald und hier kreuzt auch die Poststrasse den Bahnkörper, dessen Oberbau ungefähr 1 *m* unterhalb des Strassenniveaus liegt. Der Umstand, dass Bahn und Poststrasse sich in Kurven schneiden und beide gegen den Mittelpunkt der Kurven geneigt sind, sowie die Befürchtung, dass durch den Fuhrwerksverkehr auf der Poststrasse die Instandhaltung der Zahnstange erschwert werden würde, liessen es nicht angängig erscheinen, die Kreuzung im Niveau vorzunehmen; da anderseits die Terrainverhältnisse nicht erlaubten, eine richtige Unterführung herzustellen, so blieb nur der Ausweg einer Klappbrücke übrig. Bei der Konstruktion derselben machte sich noch in erschwerender Weise der Umstand geltend, dass die für den Verkehr der Fuhrwerke auf der Poststrasse notwendige lichte Höhe den Abstand der Kontaktleitung vom Geleise bedeutend überschritt. Es musste daher die Einrichtung getroffen werden, die Kontaktleitung über der Brücke für den Durchlass von Fuhrwerken zu heben und nur bei Öffnung der Klappbrücke zwecks Durchgang des Zuges auf das richtige Niveau zu senken.

Die Bedienung dieser Klappbrücke geschieht von Hand und zum Heben der Brücke und Herablassen des Kontaktdrahtes ist etwa eine Minute erforderlich.

Von Gherst, am oberen Endpunkte der Steilrampe gelegen, zieht sich die Bahnlinie mit geringer Steigung nach der Station Engelberg. Der notwendige Raum für diesen Teil des Bahnkörpers musste an vielen Stellen durch Absprengen der Felsen gewonnen werden; auch war die Ausführung von einigen Kurven bis zu 50 *m* Radius und die Anlage einiger 100 *m* Stütz- und Futtermauern notwendig.

Die Längen- und Höhenverhältnisse der ganzen Strecke sind aus dem Profil (Fig. 58) ersichtlich. Die ganze Länge der Bahn beträgt 22,5 *km*, wovon 1,5 *km* auf die Zahnstangenstrecke entfallen.

Für den Oberbau kamen Schienen der Vignol-Type, welche 20 *kg* pro lfd. Meter wiegen und in Längen von 10,5 *m* verlegt sind, zur Verwendung. Die Zahnstange ist eine sogenannte Leiter-

Zahnstange mit trapezförmigen, in die Seitenflanschen eingenieteten Gussstahlzähnen und ähnelt der Zahnstange bei der Barmer Bergbahn. Das Gewicht der Zahnstange beträgt 52 *kg* für den Meter; dieselbe ist in Segmenten von 3,5 *m* Länge verlegt. Die Zahnstangeneinfahrt ist beweglich und federnd gelagert.

Die Verhältnisse gestatten es, die Stromerzeugungscentrale an einer in Bezug auf die Kraftverteilung günstigen Stelle zu errichten, nämlich am Fusse der Steilrampe, also in der Nähe des Punktes des grössten Kraftkonsums.

Das Turbinenhaus in Obermatt, welchem eine Reparaturwerkstätte und ein Lokomotivschuppen angefügt sind, enthält Platz für drei Generatoren und zwei Erregermaschinen, alle direkt gekuppelt mit den entsprechenden Wassermotoren. Letztere sind Hochdruckturbinen mit horizontalen Wellen. Die Leistung jeder Drehstromgruppe, wovon gegenwärtig zwei montiert sind, beträgt 180 PS bei 650 Umdrehungen, während die zwei Erregergruppen je eine Leistung von etwa 12 PS aufweisen.

Da der maximale Strombedarf in der Nähe der Centrale verlangt wird und letztere zudem am Bahnkörper selbst gelegen ist, so arbeiten die Generatoren direkt in die Fahr- und Speiseleitungen und nur ein Teil der in der Centrale erzeugten Energie wird auf hohe Spannung transformiert.



Fig. 58.

Zu diesem Zwecke befinden sich in der Centrale selbst in einem hinter der Schalttafel gelegenen Raume drei 30 KW-Einphasen-Transformatoren, welche, in Sternschaltung verbunden, die Spannung der Kontaktleitung (750 Volt) auf 5300 Volt erhöhen. Ungefähr auf Kilometer 7 in unmittelbarer Nähe der Station Dallenwyl liegt eine zweite, aus den gleichen Einheiten zusammengesetzte Transformatorenstation, welche den hochgespannten Strom wieder auf Fahrdrahtspannung von 750 Volt reduziert.

Lange Wagen mit 48 Personen Fassungsraum laufen als Motorwagen auf der gewöhnlichen Strecke und werden auf der Zahnradstrecke von einer elektrischen Lokomotive geschoben. Die ganze Trace führt durch ein sehr interessantes Land mit schönen Ausblicken und benutzt nur eigenen Bahnkörper. Die Stationen sind

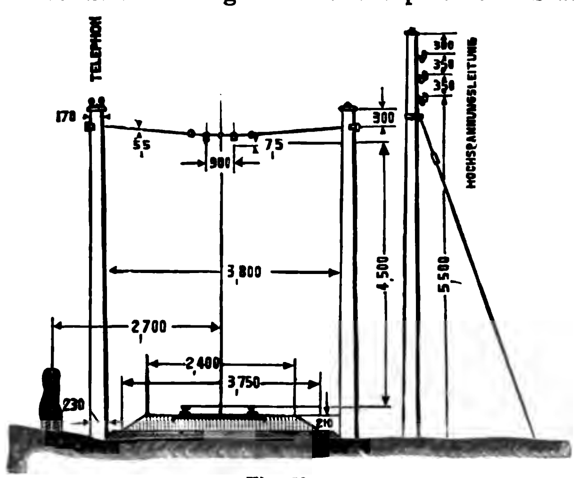


Fig. 59.

geschmackvoll eingerichtet und es ist Raum für Personengepäck vorgesehen, wodurch die Bahn mehr einer Hauptbahn gleicht als einer Strassenbahn.

Der gewählte Dreiphasenstrom wird direkt den Wagen- und Lokomotivmotoren durch zwei Bügelkontakte von den 4,5 *m* über Schienenoberkante gelegenen und 0,9 *m* voneinander entfernten oberirdischen Fahrdrähten zugeführt. Fig. 59 zeigt die schematische Darstellung der Leitungsanordnung im Querschnitt. Die Fahrschienen bilden den dritten Leiter. Der Durchmesser der Fahrdrähte ist 7,5 *mm*. Dieselben hängen an Stahldrähten von 5,5 *mm* Durchmesser, welche wiederum von je zwei Holzmasten getragen werden, die an den beiden Seiten des Bahnkörpers, 35 *m* voneinander ent fernt, aufgestellt sind. Die Masten sind imprägnierte Fichtenstämme mit 230 *mm* Zopfstärke und 170 *mm* oberem Durchmesser.

In Fig. 60 ist ein Schaltungsschema der Kraftstation dargestellt. Hierin bedeutet G den Dreiphasen-Generator von 750 Volt, E die Erreger-Dynamo von 110 Volt, R den hierzu gehörigen Nebenschluss-Regulierwiderstand, T den Transformator für die Hochspannungsfernleitung von 750—5000 Volt.

Die Schaltwand enthält die üblichen Apparate, wie Spannungsmesser, Strommesser, Schalter u. s. w. Auf der Hinterseite der Wand sind die Schmelzsicherungen und die Anschlüsse des Transformators vorgesehen.

Die oberirdischen Drähte sind an der Stelle, wo sie die Station verlassen, durch Siemens'sche Hörnerblitzableiter geschützt, welche ihrerseits an den ersten Holzmasten befestigt sind.

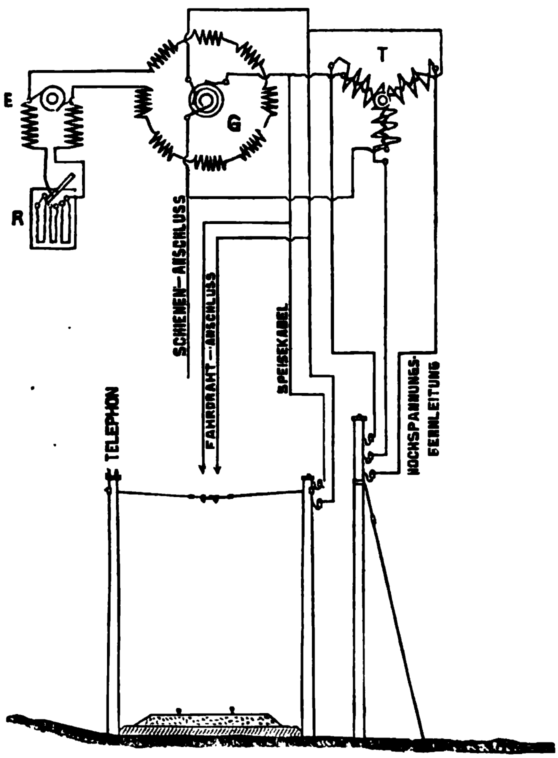


Fig. 60.

Die bei Dreiphasenstrom mögliche Nutzbremsung des auf 25%igem Gefälle fahrenden Wagens bezw. der Lokomotive ist hier wiederum durchgeführt. Diese gewonnene Arbeit wird natürlich zunächst dazu benutzt, den in der nächsten Teilstrecke fahrenden Wagen zu speisen. Da jedoch der Betrag der Stromwiedergewinnung bei dem grossen Gefälle einen Überschuss an Arbeit gegenüber dem Verbrauch des auf der Adhäsionsstrecke fahrenden Wagens liefert, muss dieser Überschuss auf andere Weise verbraucht werden. Hierzu ist in der Kraftstation ein Wasserwiderstand aufgestellt, welcher aus drei Schienen, die in den Turbinen-Wasserausflusskanal gelegt sind, besteht. Die Entfernung zwischen diesen Schienen und ihre Länge ist so gewählt, dass sie 140 bis 240 PS verzehren können. Die Kraftstation wird von dem Abwärtsfahren eines Wagens telephonisch ver-

ständigt und der Beamte in der Kraftstation bethätigt den Wasserwiderstand durch zwei besondere Schalter.

Eine andere interessante Anordnung ist die Konstruktion, welche Unfälle durch Hochspannungsdrahtbrüche verhindern soll. Die Behörde hat der Stansstadt-Engelberg-Bahngesellschaft die Bedingung auferlegt, eine Vorrichtung zu treffen, welche sofort den Strom unterbricht, wenn die Hochspannungsleitung reisst. Fig. 61 zeigt die getroffene Anordnung. Die Primärspulen a, b, c der drei kleinen Transformatoren sind mit den Hochspannungsdrähten an denjenigen

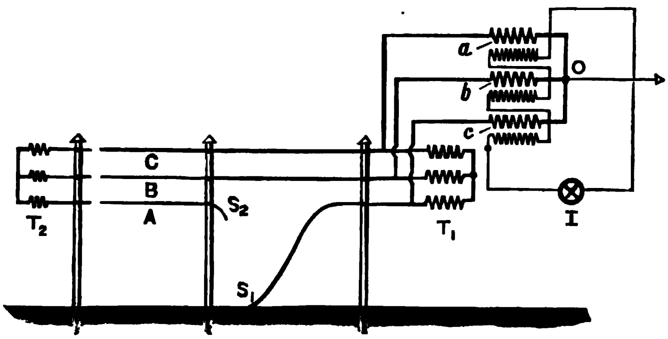


Fig. 61.

Punkten verbunden, wo sie die Station verlassen und sind gemeinsam bei Punkt O an Erde gelegt. Die Sekundärspulen dieser drei Transformatoren sind in Serie geschaltet und ergeben bei Unterbrechung des Primärstromes einen Strom, der durch einen die Ausschaltung bewirkenden Apparat geht. Die Sekundärspannung dieser Transformatoren ist 50 Volt. Der automatische Stromunterbrecher des Stromkreises ist eine mit J bezeichnete Bogenlampe. Die Wirkungsweise ist nun folgende: Wenn der Strom normal, d. h. wenn kein Draht zerrissen ist, bleibt das ganze System im Gleichgewicht und die Sekundärspulen der drei kleinen Transformatoren sind stromlos. Wenn anderseits einer der drei Drähte reisst, wird das Gleichgewicht gestört. Die ungleichen Phasen erregen die Sekundärspulen und dieser Strom durchläuft den jetzt gebildeten Lampenstromkreis, sodass die Kohlen aufleuchten und den Erregerstrom der Generatoren unterbrechen. Die mit diesen Apparaten gemachten Versuche bestanden darin, dass man einen Draht der Fernleitung auf die Erde fallen liess, wobei sich zeigte, dass die Unterbrechung des Erregerstromes und dadurch des Primärstromes innerhalb 4—7 Sekunden erfolgte. Die Wirkung ist nicht augenblicklich, aber es würde nicht schwer sein, sie zu beschleunigen, wenn z. B. an Stelle der Bogenlampe ein Starkstromunterbrecher eingeschaltet würde. Um den schäd-

lichen Wirkungen einer plötzlichen Stromunterbrechung vorzubeugen, müsste indess ein solcher Automat vorgesehen werden, welcher nicht den 110voltigen Erregerstrom sofort ausschaltet, sondern nach und nach einen Parallelschluss zu ihm bis zum direkten Kurzschluss herstellt, wodurch die Erregernebenschlussdynamo stromlos wird und der Stromkreis derselben ohne Schaden unterbrochen werden kann. Als Nachteil dieser Anordnung ist zu beachten, dass die Apparate zu empfindlich sind und auch bei Blitzschlägen in Thätigkeit treten können.

Das rollende Material besteht aus zwei elektrischen Lokomotiven, fünf Motorwagen und vier Güterwagen. Die Lokomotiven, welche

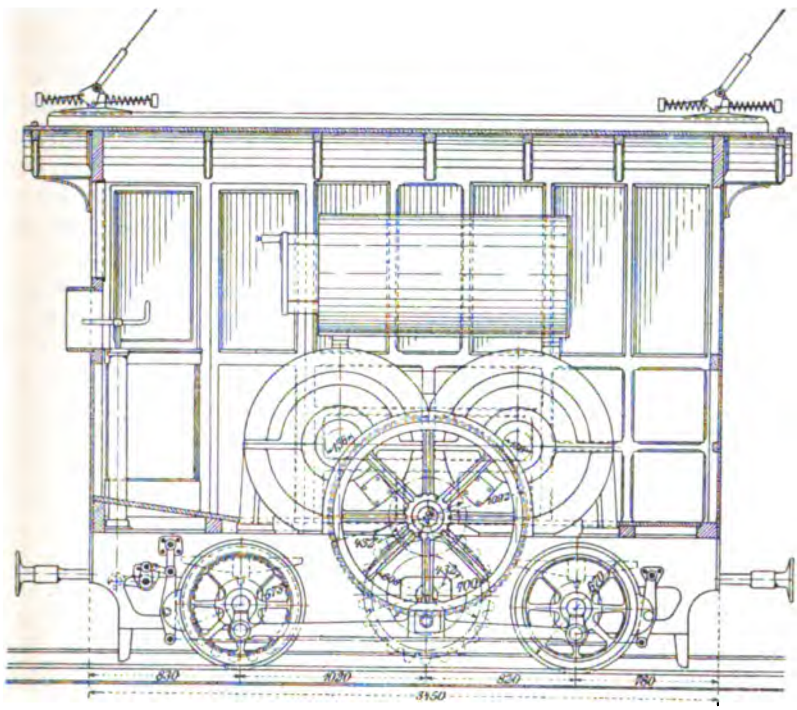


Fig. 62a.

jede ein Gewicht von 16,5 *t* haben, sollen die Wagen auf den Zahnradstrecken stossen und ausserdem die Güterzüge in der Adhäsionsstrecke bewegen. Diese Lokomotiven sind zweiachsig und mit zwei Elektromotoren von je 75 PS ausgerüstet, welche das Antriebszahnrad durch eine doppelte Übersetzung ins Langsame antreiben. Die Umdrehungszahl der Motoren ist rund 650/Minute und die Ge-

schwindigkeit auf der Zahnradstrecke ist 5 *km*/Std. Auf ebenen Strecken kann eine höhere Übersetzung zum Antrieb der beiden Wagenachsen eingeschaltet werden, sodass die Lokomotiven mit 11,4 *km*/Std. Geschwindigkeit laufen können. Die Ausrüstung der Lokomotiven besteht aus einem Ausschalter, einem Umschalter, einem Spannungs- und Strommesser, Blitzableiter und Sicherungen. Die konstruktive Durchführung dieser kombinierten Zahnrad- und Adhäsionslokomotive ist in Fig. 62a, b, c und Fig. 63 veranschaulicht. Die Hauptdaten der Lokomotive sind:

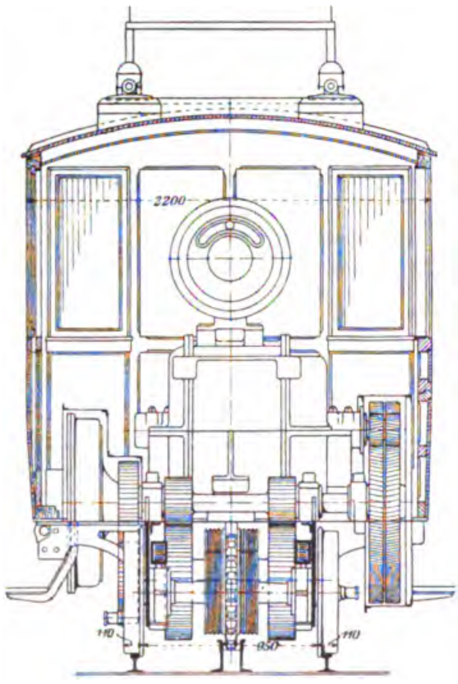


Fig. 62b.

Spurweite . .	1000 *mm*
Steigung max. .	250 ‰
Durchmesser des Triebrades (Zahnrad) . .	700 *mm*

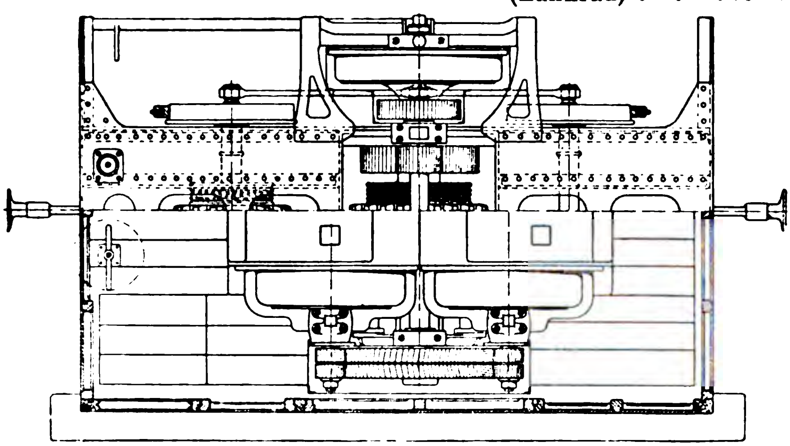


Fig. 62c.

Durchmesser der Lauf-(Adhäsions-)Räder	670 *mm*
Geschwindigkeit für die Bergstrecke	5 *km*/Std.

Geschwindigkeit für die Thalstrecke	11,5 *km*/Std.
Leistung der Motoren	150 PS
Umdrehungszahl der Motoren	650
Spannung	750 Volt
Gewicht der Lokomotive	12 *t*
Zugkraft auf der Adhäsionsstrecke	2000 *kg*
Zugkraft auf der Zahnradstrecke	7500 »

Die Thätigkeit des Wagenführers ist sehr einfach. Er schliesst zuerst den Hauptschalter und schaltet langsam den Widerstand aus, welcher beim Anlauf in den Stromkreis des Motors eingeschaltet ist. Die Motoren arbeiten, wenn sie die normale Tourenzahl erreicht haben, im Synchronismus mit den Generatoren der Kraftstation und mit einer konstanten Geschwindigkeit, welche unabhängig von der Belastung ist. Bei einer Steigung von 25%, wenn die Lokomotive einen vollbelasteten Motorwagen befördern muss, braucht dieselbe im Durchschnitt 95—100 Ampère bei 750 Volt Betriebsspannung. Beim Thalfahren unter denselben Bedingungen liefert der Motor 60—65 Ampère in das Netz zurück, welche Stromrückgabe sich bis 75 Ampère im Maximum steigern kann.



Fig. 63.

Der Strom wird von der Oberleitung vermittelst zweier Kontaktbügel entnommen, welche aus zwei voneinander durch ein mit Paraffin getränktes Stück Holz isolierten Aluminiumteilen bestehen. Das Kontaktbügelsystem ist deshalb angewendet worden, um die Schwierigkeiten, welche sich bei der Ausbildung der Luftleitung mit zwei Fahrdrähten für Rollkontakt ergeben, zu umgehen. Die Bügel mussten aber für diesen Fall entsprechend ausgebildet werden.

Die gezeigte Lokomotive ist mit folgenden Bremsvorrichtungen versehen:

1. Gewöhnliche Bremsklötze, welche auf alle vier Räder einwirken.

2. Der Motor wirkt als Generator und der erzeugte Strom wird ins Netz zurückgeschickt.

3. Die Luftbremse, welche gleichzeitig durch zwei Kolben und Cylinder wirkt, von denen je einer durch die Motorwelle und durch die Vorgelegewelle I, die sich zwischen den beiden Motorachsen befindet, bethätigt wird.

Diese unter 1 und 3 genannten Bremsen sind derartig mechanisch miteinander verbunden, dass der Bremsdruck auf beide Achsen gleichmässig verteilt ist.

Die Luftbremse kann entweder von Hand oder automatisch in Wirksamkeit gesetzt werden. Um ein sicheres Auslösen dieser Bremse zu erhalten, ist ein Geschwindigkeitsregulator angebracht, welcher die Bremse in Thätigkeit setzt, wenn die Geschwindigkeit die normale überschreitet. Überdies wird diese Bremse auch automatisch angezogen, wenn der Hauptschalter geöffnet ist.

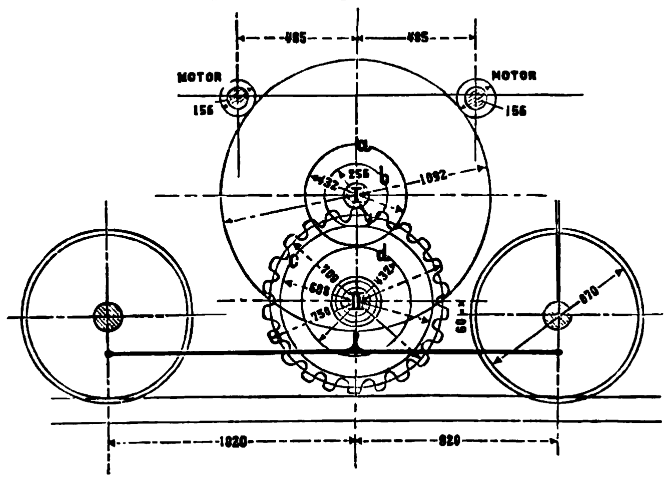


Fig. 64.

Die mit zwei Motoren versehenen Lokomotiven sind ausser den Motor- und Wagenachsen mit zwei Zwischenwellen versehen, von denen die eine das in die Zahnstange eingreifende und lose auf seiner Welle sitzende Zahnrad trägt. Die Motorachsen tragen am Ende je ein Zahnrad von 156 *mm* Teilkreisdurchmesser, die je in ein grosses Zahnrad mit 1092 *mm* Durchmesser eingreifen (siehe Fig. 64). Dieses letztere Rad sitzt auf der Vorgelegewelle I, welche gleichzeitig zwei Zahnräder a mit je 432 *mm* Durchmesser und zwei Zahnräder b mit je 256 *mm* Durchmesser trägt. Bei geringer Geschwindigkeit, also auf Steigungen, wenn die Lokomotive als Zahnradlokomotive läuft, arbeiten die letzterwähnten Räder b auf zwei Zahnräder c mit 608 *mm* Durchmesser, welche sich auf beiden Seiten des in die Zahnstange eingreifenden Rades auf der Vorgelegewelle II

freidrehend befinden. Die beiden ersterwähnten Räder a von 432 *mm* Durchmesser, die links und rechts der Räder b sitzen, sind mit je einer Reibungskuppelung versehen, welche bei Adhäsionsstrecken eingerückt werden und auf die Räder d mit ebenfalls 432 *mm* Durchmesser arbeiten, die sich auf der Vorgelegewelle II ungefähr in der Breite der Spur befinden. Die Übertragung auf die Laufachsen geschieht durch Pleuelstangen, welche, von den Rädern d ausgehend, zwei auf die Laufachsen aufgekeilte Kurbelscheiben in Bewegung setzen und dadurch die Fortbewegung der Lokomotive vermittelst Adhäsion mit einer Geschwindigkeit von rund 11,4 *km*/Std. bewirken.

Das in die Zahnstange eingreifende Rad ist also stets mit dem Motor mechanisch gekuppelt, während die beiden Räder a nur auf



Fig. 65.

Adhäsionsstrecken vermittelst der Reibungskuppelung eingerückt werden. Die Übersetzung auf langsamen Gang ist rund 15 : 1.

Ein von Hand zu bethätigender Regulierschalter verbindet die Kohlenkontakte auf den Schleifringen mit den verschiedenen Widerstandsabteilungen, die der jeweiligen Anlassperiode entsprechen. Alle Kontrollapparate sind im Lokomotivwagenkasten untergebracht, welcher an allen Seiten mit Fenstern, sowie mit zwei Thüren versehen ist.

Die Zahl der Motorwagen, wie deren einer in Fig. 65 dargestellt ist, beträgt gegenwärtig fünf; dieselben sind 14 *m* lang und auf zwei Drehgestellen mit 1,8 *m* Radstand aufgebaut. Der Truckstand beträgt 8,30 *m*. Die Zahl der Abteilungen ist sechs, zu welchen noch die Räume für Gepäck an den beiden Wagenenden hinzukommen. Die Wagen ent-

halten 44—48 Sitzplätze. Beide Plattformen sind durch Glaswände abgeschlossen, deren Fenster nach Belieben geöffnet werden können.

Auf der vorderen Plattform steht nur der Wagenführer, welcher einen Schalter, einen Hebel zum Schalten des Widerstandes in den Ankerstromkreis und die Handbremse zu bedienen hat.

Die zwei Motoren werden von beiden Achsen des einen Drehgestelles getragen, sie sind sechspolig, laufen mit 650 Minuten-Umdrehungen und treiben die Radachsen durch Zahnradübertragung an.

Die eine Achse des freien Drehgestelles ist mit einem Zahnrad versehen, welches in die Zahnstange eingreifen kann. Vermittelst einer Luftbremse kann dieses Zahnrad gebremst werden und die Bethätigung erfolgt von der hinteren Plattform des Wagens aus. Der Wirkungsgrad der Motoren bei voller Belastung ist 80%, einschliesslich der Zahnradübertragung.

Der Regulierwiderstand, welcher in den Ankerstromkreis des Motors eingeschaltet wird, ist auf dem Wagendach angebracht und in ein wasserdichtes Gehäuse eingeschlossen.

Die Motorwagen besitzen genügend Zugkraft, um auf der Adhäsionsstrecke einen Anhängewagen von 10 *t*, also zusammen 26 *t* Zuggewicht, ziehen zu können. Bei Obermatt läuft zunächst der Motorwagen ca. 20 *m* auf der Zahnradstrecke weiter, worauf die Lokomotive ihm nachfährt und ihn samt Anhänger ungekuppelt die Steigung nur vermittelst der Kraft der Lokomotive hinaufschiebt. Die Zahnradstrecke hat eine Länge von 1540 *m* und endet bei Gherst.

Wenn diese Station erreicht worden ist, schaltet der Motorwagenführer den Strom wieder ein und fährt mit eigener Kraft weiter, wobei demnach ein Loskuppeln der Motorwagen von der Lokomotive nicht nötig ist. Die Lokomotive bleibt in Gherst, um einen zurückkehrenden Wagen zu erwarten. Um die Aufeinanderfolge zweier Züge zu gestatten, sind Seitengleise angebracht, auf welche die Lokomotiven gefahren werden. Bei der Thalfahrt fährt der Motorwagen so weit an die Zahnradstrecke heran, dass das Zahnrad der Luftbremse in die Zahnstange eingreift. Die Lokomotive wird an den Wagen gekuppelt und die Thalfahrt beginnt. Nach der Ankunft in Obermatt wird die Lokomotive losgekuppelt und auf das Seitengleis gefahren, worauf der Motorwagen unabhängig von der Lokomotive mit eigener Kraft nach einem Aufenthalt von zwei Minuten, welcher zum Loskuppeln der Lokomotive dient, seinen Weg fortsetzt. Fig. 66 zeigt den in der Thalfahrt begriffenen Zug auf der Zahnstangenstrecke.

In Laon in Frankreich ist von der französischen Thomson-Houston Compagnie eine $1^1/_2$ *km* lange elektrische Bahn gebaut worden, die auf dieser Strecke eine Niveaudifferenz von 100 *m* zu

überwinden hat, d. h. durchschnittlich 1 : 15 oder rund 7%. Von dieser Strecke ist ein Teil der Bahn nahezu horizontal und der andere Teil liegt auf einer Steigung von 10%. Auf dieser Steilstrecke sind noch 200 *m* mit der grössten vorkommenden Steigung 1 : 7 auf gemauertem Viadukt angelegt.

Nach den vorliegenden Erfahrungen wäre es wohl noch möglich gewesen, die Bahn als reine Adhäsionsbahn aufwärts zu betreiben, der grösseren Sicherheit halber wurde aber die Steilstrecke für



Fig. 66.

Bremszwecke mit einer Zahnstange ausgerüstet. Vor der Eröffnung der Bahn wurden einige Probefahrten vorgenommen. Die erste Bergfahrt dauerte 12 Minuten, wobei am Anfang der Zahnstange 4 Minuten angehalten wurde. Die zweite Fahrt wurde ohne Zahnrad nur mit Adhäsion ausgeführt und dauerte nur $6^1/_2$ Minuten; dabei blieb der Stromverbrauch wesentlich geringer als bei der ersten Fahrt. Die Adhäsion ist also ausreichend, wenigstens unter gewöhnlichen Umständen; dennoch erschien aber die Verwendung der Zahnstange gerechtfertigt, um jederzeit sicher den Wagen abbremsen zu können.

III.

Tiefbahnen.

Unter Tiefbahnen sind alle diejenigen Bahnen zu verstehen, welche unterhalb der Erdoberfläche laufen. Es haben sich hierin zwei Formen ausgebildet, welche ihre Unterscheidung in der Tieflage finden. Diese beiden Abarten können bezeichnet werden als:

1. Unterpflasterbahnen und
2. Untergrundbahnen.

Bei allen Tiefbahnen zeigt sich der elektrische Betrieb dem bisher angewandten Dampfbetrieb weit überlegen, weil er gänzlich jede Rauch- und Dampfentwickelung vermeidet. Man ist daher auch bereits dazu übergegangen, vorhandene Dampftiefbahnen in elektrischen Betrieb umzuwandeln. Als hierher gehörig kann man auch die Tunnelbahn der Baltimore — Ohio - Eisenbahn betrachten. Hier wird kurz vor einer der Stationen ein langer Berg mittels Tunnel befahren und man hat sich besonders die Vorzüge des elektrischen Betriebes zu nutze gemacht. Vor den mit Dampflokomotive ankommenden Zug spannt man eine elektrische Lokomotive, wie dieselbe im Kapitel VI näher erläutert ist, und schleppt mit dieser den ganzen Zug durch den Berg. Bei der im Zuge befindlichen Dampflokomotive werden die Feuerthüren geschlossen, die Cylinderhähne geöffnet und das Dampfventil abgesperrt, um zu verhindern, dass der schwer zu lüftende Tunnel verunreinigt wird.

Das gleiche Manöver macht die Orléansbahn in Paris. Diese Gesellschaft erhielt die Genehmigung, ihren ausserhalb der Stadt gelegenen Personenbahnhof nach dem Stadtinnern zu verlegen, wenn Tunnelbetrieb für diese neue Verbindungslinie in Aussicht genommen würde. Man entschied sich hierbei für die Anwendung elektrischer Lokomotiven, die an Stelle der Dampflokomotiven treten, sobald ein Zug zwischen Aussen- und Innenbahnhof befördert werden soll.

1. Unterpflasterbahnen.

Als eine Kombination zwischen Unterpflasterbahn und gewöhnlicher Niveaubahn kann man ein von B. H. Thwaite und George Cawley angegebenes kombiniertes System, wie dies Fig. 67 zeigt, betrachten. Es ist charakterisiert durch die Anwendung eines unter

dem Pflaster laufenden kleinen Motorwagens, welcher den über dem Pflaster laufenden leichten Personenwagen mittels geeigneter Verbindungsstücke treibt. Es ist gewissermassen eine elektrische Kabelbahn, bei welcher das Kabel ersetzt wird durch die Stromleitung und der Kabelgreifer durch den Kanal-Motorwagen. Das System kann bestehenden Pferdebahnwagen leicht angepasst werden und ermöglicht die Benutzung vorhandener Wagen, ohne dass diese einer wesentlichen Änderung unterworfen werden müssten. Der zwischen den Schienen liegende Kanal muss fest ausgemauert werden, um einmal den Fahrschienen genügendes Fundament zu bieten und

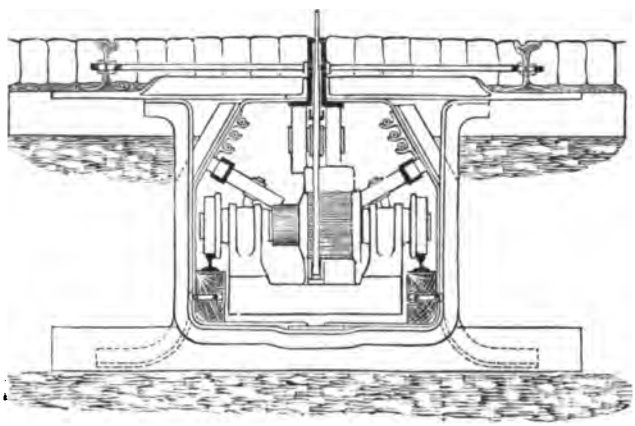


Fig. 67.

zweitens die Wasserführung zu bewirken. Die Schaltvorrichtungen für diesen Motor befinden sich natürlich in dem oberirdisch laufenden Wagen.

Über die Bauart der unter dem Pflaster liegenden Anlage sei das Folgende erwähnt:

Ein im Boden und an den Seitenwänden aus Ziegeln oder auch ganz aus Eisen bezw. Stahl konstruierter, 838 breiter und 762 *mm* hoher und zwischen den Schienen liegender Fahrweg dient für die elektrische Lokomotive. In Strecken von 100—150 *m* sind Einsteigschächte angebracht, durch welche ein Arbeiter in den Kanal einsteigen kann, wenn etwaige Ausbesserungen oder Besichtigungen vorzunehmen sind. Gleichzeitig werden an diesen Stellen auch Schlammsäcke angebracht, in denen sich der eingedrungene Schmutz und das Wasser sammeln kann.

Die Decke des Kanals ist von einem Schlitz durchbrochen, welcher 16 *mm* breit ist und durch welchen die 14,3 *mm* starke eiserne Verbindungsplatte führt. In der letzteren sind die elektrischen

Zuleitungen nach den oben liegenden Schaltapparaten als flache Kupferstreifen eingebettet. Die Winkeleisen, welche die Wände des Schlitzes bilden, sind zur Versteifung durch Bolzen mit den Fahrschienen verbunden.

Rechts und links im Kanal liegen auf dem Boden hölzerne Längsschwellen, welche durch Verschraubungen mit den Seitenwänden verbunden sind. Auf ihnen sind die Laufschienen für die Lokomotive montiert. An dem schrägen Dach des Kanals sind Rinnen für die zuleitenden Kabel befestigt und unter diesen liegen die ebenfalls am Dach angebrachten blanken Zuleitungsschienen, welche durch Porzellan-Isolatoren isoliert sind. Die leitende Verbindung mit der Lokomotive wird durch Zuleitungsrollen oder passende Gleitkontakte bewirkt, welche sich am Ende der schräg stehenden Kontaktarme befinden.

Ein weiteres, mit der Lokomotive verbundenes Räderpaar drückt gegen die Winkeleisen, welche die Wände des Schlitzes bilden. Dasselbe sitzt an den Enden eines Hebels, durch welchen die Räder an ihre Schienen angedrückt werden können. Dadurch kann die Zugkraft der Lokomotive beim Anfahren und in Steigungen infolge der verstärkten Reibung vermehrt werden (vorausgesetzt, dass die Räder einen Antrieb vom Motor erhalten).

Die Triebräder der Lokomotive können vergleichsweise klein sein und dies ergiebt den Vorteil, dass sie mit der Ankerwelle unmittelbar verbunden werden können, was für die Lokomotive vorteilhaft ist.

Auf der Lokomotive sind zwei Motoren von je 8 PS angeordnet, welche für die rasche Fortbewegung eines Wagens mit 44 Fahrgästen genügen.

Was die für das System anzunehmenden Anlagekosten anbetrifft, so berechnen die Erfinder dieselben mit 150000 ℳ für 1 *km*.

Die Betriebskosten sollen beim Thwaite-Cawley-System wegen der geringen Reparaturkosten besonders günstig sein.

Ausser diesem Vorteile geben die Erfinder noch weitere Vorzüge ihres Systems, und zwar:

1. Der Kanal ist weit genug, um ein Durchkriechen und also die genaue Besichtigung und etwaige Ausbesserungen zu gestatten.

2. Der Kanal kann von Schmutz, Staub und Wasser frei gehalten werden.

3. Die Laufschienen der Lokomotive liegen verdeckt, bleiben also von Schnee und Eis frei.

4. Wenn der Kanal einmal gebaut ist, stört er den Strassenverkehr nicht mehr, da die Reparaturen kein Aufreissen des Pflasters erfordern.

5. Auf Bahnen nach diesem System können gewöhnliche Strassenbahnwagen verwendet werden.

6. Die Motoren laufen mit unmittelbarem Antrieb und mit relativ grosser Geschwindigkeit.

7. Alle Funkenbildungen auf den Strassenschienen sind vermieden.

8. Jede Gefahr für den Strassenverkehr, die aus dem Kontakt mit der Hochspannungsleitung entsteht, ist beseitigt.

9. Längs der Linie brauchen keine Leitungsträger aufgestellt zu werden; das Strassenbild wird nicht verändert.

10. Die Pferdebahnschienen brauchen nicht gegen stärkere ausgewechselt zu werden.

11. Auf Vorortlinien können elektrischer und Pferdebetrieb nebeneinander bestehen.

12. Die Belastung der Triebräder der Lokomotive ist proportional der verlangten Zugleistung.

13. Die elektrischen Leitungen sind von der Erde isoliert und es ist somit dem Entstehen vagabundierender Ströme vorgebeugt.

14. Das System gewährt die kleinsten Ausbesserungs- und Schaltungskosten und wegen der langen Lebensdauer der Anlage auch kleine Amortisationsquoten.

Man kann über den Wert oder Unwert dieser Konstruktion im Zweifel sein, da praktische Ausführungen der Idee noch nicht zu verzeichnen sind.

Wir wenden uns demnach zu den reinen Unterpflasterbahnen.

Die leichte Zugänglichkeit zu einer Unterpflasterbahn ist gegenüber einer Hochbahn und einer Tiefbahn ein Vorzug, welcher für die Anlage solcher Bahnen mitbestimmend werden kann.

Bauschwierigkeiten stellen sich bei Unterpflasterbahnen nur ein, wenn Haupt- oder Nebenkanäle u. dergl. zu durchkreuzen sind, was entsprechend der Tieflage beiderseitiger Anlagen häufiger vorkommt, als bei Untergrundbahnen.

Der Typus ausgeführter Unterpflasterbahnen ist durch die von der Firma Siemens & Halske in Budapest erbaute Tiefbahn gekennzeichnet. Zu Ehren des regierenden ungarischen Königs wurde diese Bahn »Franz Josefs Elektrische Untergrundbahn« genannt. Sie ist die erste Untergrund-Stadtbahn des Festlandes. Ihr Bau wurde am 13. August 1894 in Angriff genommen und derart beschleunigt, dass die Bahn bereits am 2. Mai 1896 dem Betrieb übergeben werden konnte.

In Fig. 68 ist die Herstellung der Tunneldecke, welche zugleich das Pflaster trägt, ersichtlich.

filzplatten abgedeckt, wie solche zuerst in grösserem Massstabe bei Erbauung der Berliner Stadt-Eisenbahn Anwendung fanden.

Die Konstruktion der Wagen musste sich selbstverständlich ganz nach den Abmessungen des Tunnels richten, brauchte aber nicht, wie bei Untergrundbahnen mit rundem Tunnelquerschnitt, von der allgemein gebräuchlichen Wagenform abzuweichen. Der rechteckige Tunnelquerschnitt wurde für das Wagenprofil möglichst ausgenutzt; den Wagenkasten hängte man mittels entsprechend gekröpfter Längsträger zwischen den an beiden Enden des Wagens befindlichen Drehgestellen auf und gewann, indem man den Fussboden des Wagenkastens 15 *cm* über die Oberkante des Bahnsteiges legte, für die lichte Höhe des Wagenkastens das Mass von 2,085 *m*, d. h. ein grösseres Mass als bei den gebräuchlichen Strassenbahnwagen. Jeder Wagen hat 32 Sitzplätze in dem mittleren Raume. Die beiden Abteilungen über den Drehgestellen sind von dem Mittelraum vollständig abgeschlossen und dienen zur Unterbringung des Wagenführers und der Betriebsapparate. In Fig. 70 ist der Wagen dargestellt und zeigt zugleich die oberirdische Streckeninstallation ausserhalb des Bahntunnels.

Jeder Wagen besitzt zwei Motoren; bei einem Teil der Wagen sitzen diese bei normal 200 Minuten-Umdrehungen unmittelbar auf der Wagenachse, während bei einem anderen Teile die übliche Kettenübertragung angewendet ist. Aus Fig. 70 ist ersichtlich, dass die Wagen zwei bügelförmige Stromabnehmer tragen, welche sich federnd auf die gekröpften Längsträger stützen.

Die Wagen laufen mit einer grössten Geschwindigkeit von 28 *km*/Std.

Eine elektrische Einrichtung zur selbstthätigen Regelung der Fahrgeschwindigkeit kommt praktisch nicht zur Anwendung, weil diese Einstellung wegen der geringen Entfernung zwischen den Haltestellen sich als nicht zweckmässig erwiesen hat.

Für die Zuleitung des elektrischen Stromes sind an der Tunneldecke Fahrleitungen zur unmittelbaren Stromentnahme angebracht. Der Tunnel enthält ferner noch die Speiseleitungen und die Leitungen für die elektrische Beleuchtung und die Blockierung der Strecke.

Der Strom wird in der in der Gärtnergasse gelegenen Centrale der Budapester elektrischen Stadtbahn erzeugt. Von hier aus sind Zuleitungskabel bis an den Octogonplatz verlegt worden. Die Fahrleitungen entnehmen streckenweise den Strom aus besonderen Speiseleitungen, welche als blanke Kupferseile an der Tunneldecke isoliert aufgehängt sind. Auf der kurzen Bahnstrecke ausserhalb des Tunnels ist die oberirdische Stromzuleitung in bekannter Weise an Masten angebracht.

Die Betriebsspannung beträgt 300 Volt, weil die sämtlichen Budapester Strassenbahnen mit dieser Spannung betrieben werden. Die Kraftstation für die Untergrundbahn ist mit der der Strassenbahn gemeinschaftlich.

Die Wagen werden fast nur auf elektrischem Wege dadurch gebremst, dass man die Motoren als Generatoren arbeiten lässt; selbstverständlich ist ausserdem eine kräftige Handbremse vorhanden. Das Gewicht der Wagen ist infolge des kräftigen Untergestelles, wie dasselbe in Fig. 71 dargestellt ist, im Verhältnis zum Fassungsraum sehr hoch; es beträgt im unbelasteten Zustande etwa 13 *t*, sodass der besetzte Wagen ungefähr 16 *t* wiegt. Die Wagen laufen wegen der Drehgestelle und der Überblattung der Schienenstösse ausserordentlich ruhig, wozu auch noch die günstige Trace wesentlich beiträgt. Die Beleuchtung durch elektrisches Glühlicht ist sehr reichlich; dagegen ist die Lüftung bei vollbesetztem Wagen etwas mangelhaft. Die Luft im Bahntunnel ist übrigens infolge der durch die Erweiterung an den Haltestellen bewirkten Lüftung gut und vollständig normal; sie unterscheidet sich also sehr vorteilhaft von der feuchten Luft in den Tunneln der Untergrundbahnen. Zu diesem Vorzug trägt namentlich auch die gute Isolierung des Tunnels gegen Grundwasser bei, infolge deren die Schotterbankette der Bahngleise vollständig trocken sind und zur Vermeidung von Staub mitunter besprengt werden müssen.

Bezüglich des Stromverbrauches der Motorwagen sind interessante Versuche angestellt worden, welche bei einer grössten Fahrgeschwindigkeit von 28 *km*/Std. einen Verbrauch von etwa 800 Wattstunden für das geleistete Wagenkilometer ergaben. Bei einem Wagengewicht von 13 bezw. 16 *t* ist diese Zahl als recht günstig zu bezeichnen, sie hat ihren wesentlichen Grund in der Bahntrace und den vorteilhaften Betriebsbedingungen der Unterpflasterbahn.

Die Bahn folgt dem Zuge der Strassen und ist durchgehends zweigleisig und normalspurig angelegt. Sie hat nur an bestimmten Punkten Haltestellen und zwar insgesamt deren 11, an welchen die Fahrgäste aufgenommen und abgesetzt werden und trägt hiernach, weil ihr Bahnkörper vom Strassenkörper abgesondert, also ihr Verkehr vom Strassenverkehr unabhängig ist, das Gepräge einer Stadtbahn im eigentlichen Sinne des Wortes.

Die 3700 *m* lange Bahn beginnt in der inneren Stadt unter der Redoutengasse am Gisela-Platz in der Nähe des Donau-Ufers und führt dann zwischen der Theresienstrasse und der Elisabethstadt unter der ganzen Andrássystrasse als Unterpflasterbahn bis zum Stadtwäldchen, steigt dort an die Oberfläche hinauf nach dem Tiergarten und endigt im Stadtwäldchen in der Nähe des artesischen Bades.

Die Haltestellen der Untergrundbahn sind wie die meisten Haltestellen der Stadtbahnen in London und New-York derart angeordnet, dass beiderseits ausserhalb der Gleise je ein Bahnsteig angelegt wurde. Es sind nur 19—24 Stufen zwischen den Bahnsteigen der Haltestellen und den Bürgersteigen der Strassen erforderlich. Die Wände der Haltestellen sind mit weissen Majolikaplatten verkleidet.

Die Treppenhäuschen der Haltestellen sind besonders reich in Majolika und Pyrogranit ausgeführt. Die beiden Treppenöffnungen der Haltestelle »Oper« wurden überhaupt nicht überbaut, um die Ansicht des Opernhauses nicht zu verdecken.

In Fig. 72 ist die Ansicht des Kioskes und des Treppenhäuschens der Station »Franz Deakplatz« dargestellt.

Wenn gleichwohl die Anlagekosten der Bahn eine Höhe von 1700000 *M* für 1 *km* erreichen, so erklärt sich dies daraus, dass die Herstellung des Tunnels eine äusserst komplizierte war. Der Untergrund einer grossen Stadt ist derart unterminiert und von einem weitverzweigten Netze von Kanälen und Leitungen aller Art — Unratabzugs- und Sammelkanälen, Wasserleitung, Gasleitung, elektrischen Kabeln und Drähten u. s. w. — in den verschiedensten Tiefenlagen durchzogen, die alle in ihrer Kontinuität nicht unterbrochen und in ihrer Wirksamkeit nicht gestört werden dürfen, dass es wahrlich keines geringen Aufwandes von Kombination, Umständlichkeiten und Kosten bedarf, um in dieses Labyrinth unterirdischer Wege ein neues Glied einzufügen, ohne die bereits bestehenden zu beirren. Und noch dazu ein Glied, das einen so bedeutenden, die Dimension aller anderen so weit übertreffenden Querschnitt hat wie eine doppelgleisige normalspurige Bahn, und das der Natur seines Wesens nach an die möglichste Annäherung an die Gerade und Horizontale gebunden ist! Rechnet man noch Anforderungen hinzu, die behördlicherseits an die Solidität der Bauausführung und an den Schutz gegen störende Einflüsse gestellt wurden, sowie den grossen Umfang der für den Betrieb erforderlichen baulichen und maschinellen Einrichtungen, so wird man die Höhe der Anlagekosten erklärlich finden. Indess sind die Anlagekosten der Unterpflasterbahn immer noch erheblich geringer als bei den bekannten Untergrundbahnen, die das Dreifache betragen. Diese Vergleichsziffern werden zweifellos bei der Behandlung der Stadtbahnfrage in anderen Grossstädten eine wichtige Rolle spielen und zur Anlage von elektrischen Unterpflasterbahnen nach Budapester Muster führen, sobald die Möglichkeit gegeben ist, die Kanalisationsanlagen durch den Bahntunnel zu überführen und die Gas- und Wasserleitungen in die Tunneldecke zu verlegen.

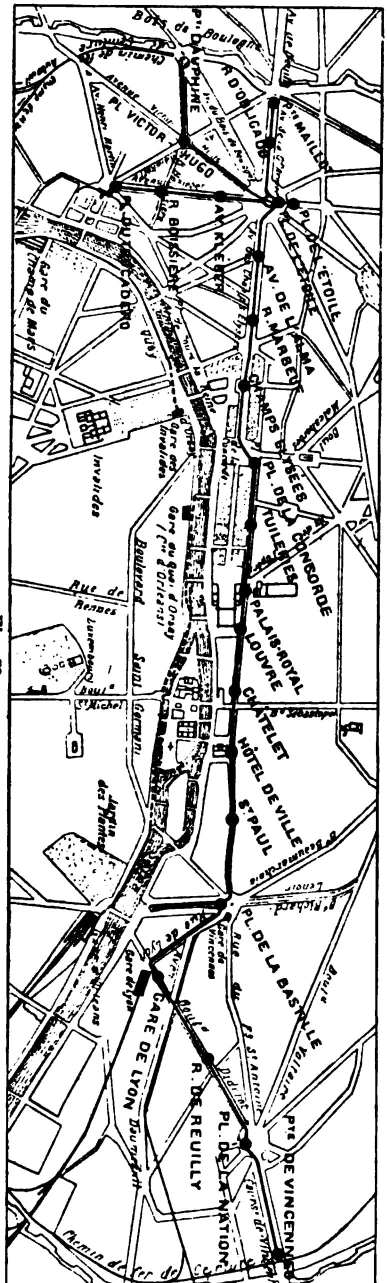


Fig. 73.

Eingehende Baubeschreibungen der Franz Josefs-Bahn finden sich in der Z. d. V. d. Ing. 1896, Heft 52, von Kollmann, in der Österreichischen Zeitschrift für Eisenbahnen und Dampfschiffahrt von Wilczek, in der ETZ 1896, Heft 32, Seite 494 und ETZ 1897, Heft 36, von Braun, Die Elektrizität 1896, Heft 5 und 16.

Über Entwürfe amerikanischer Unterpflasterbahnen giebt Brückmann in der Z. d. V. d. Ing. 1895, Heft 43, Seite 1280 ff. einige zeichnerische Darstellungen, welche sich im wesentlichen an die Budapester Ausführungen anschliessen.

In Boston wurde kurz nach der Budapester Ausführung eine Unterpflasterbahn von 2,5 *km* Tunnellänge gebaut. (Vergl. Z. d. V. d. Ing. 1895, Heft 43, Seite 1283.)

Am 19. Juli 1900 wurde ein Teil der Pariser elektrischen Stadtbahn, der »Metropolitan«, eröffnet, welche in der Richtung von Südosten nach Westen Paris unterirdisch durchquert und mit ihren Abzweigungen eine Gesamtlänge von rund 42 *km* haben wird. Der bisher dem Betriebe übergebene Teil hat eine Länge von 14 *km*, von denen ca. 10 *km* auf die Strecke zwischen der Porte de Vincennes und der Porte Maillot, die übrigen 4 *km* auf zwei kurze Zweigstrecken von dem Place de l'Etoile nach dem Place Dauphine und nach dem Place du Trocadero entfallen. Der in Fig. 73 dargestellte Situationsplan zeigt die Trace dieser bis jetzt längsten Unterpflasterbahn Europas. Die ganze Bahn ist mit 1,44 *m* Spurweite doppelgleisig angelegt, mit Ausnahme einiger kurzer

Strecken auf den Endbahnhöfen, wo die beiden Gleise durch eingleisige Strecken hufeisenförmig verbunden sind. An der doppelgleisigen Strecke haben die Tunnel einen elliptischen Querschnitt von etwa 7 *m* Breite und 4,5 *m* Höhe über den Schienen. Fig. 74 zeigt den Schnitt einer Station mit Ansicht der Tunnelwölbung und Treppen. Die Tunnel an den eingleisigen Strecken haben eine halbkreisförmige Wölbung

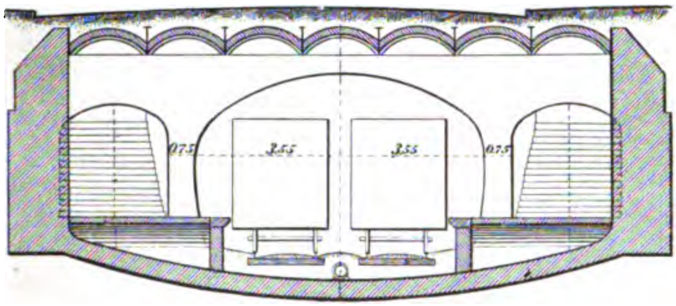


Fig. 74.

von etwa 2,1 *m* Radius über Seitenwänden von 2,5 *m* Höhe. Die Stationen haben eine Länge von 75 *m* bei einer Breite von 14 *m*. Die Perrons sind 4 *m* breit und ungefähr 90 *cm* gegen die Schienen erhöht. Die mittlere Tiefe der Schienen unterhalb des Strassenniveaus beträgt 6—7,50 *m*. Unter einigen Strassen, wie in der Rue de Rivoli, reichen die Tunnel bis nahe an das Strassenniveau

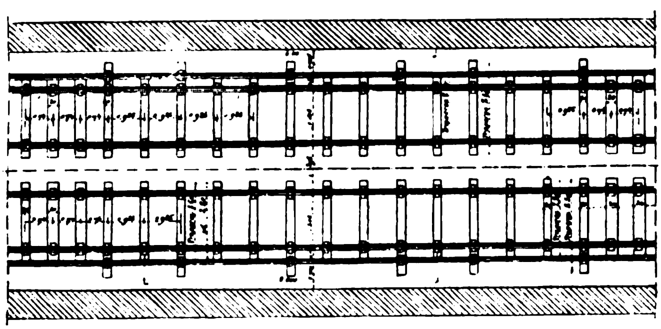


Fig. 75.

heran. Die Schienen, welche auf ungefähr 1 *m* voneinander abstehenden Querschwellen aus mit Kreosot durchtränktem Holze verlegt sind, haben 15 *m* Länge und wiegen 50 *kg* für je 1 *m* Länge. Sie ruhen auf Schienenstühlen und sind durch vierlöcherige Laschen von ca. 60 *cm* Länge, sowie durch je vier Kupferleiter miteinander verbunden. Die Stromzuführung geschieht nach dem System der dritten Schiene. Fig. 75 zeigt den Grundriss des Schienenweges zugleich mit der Anordnung der seitlichen Stromleitungsschiene.

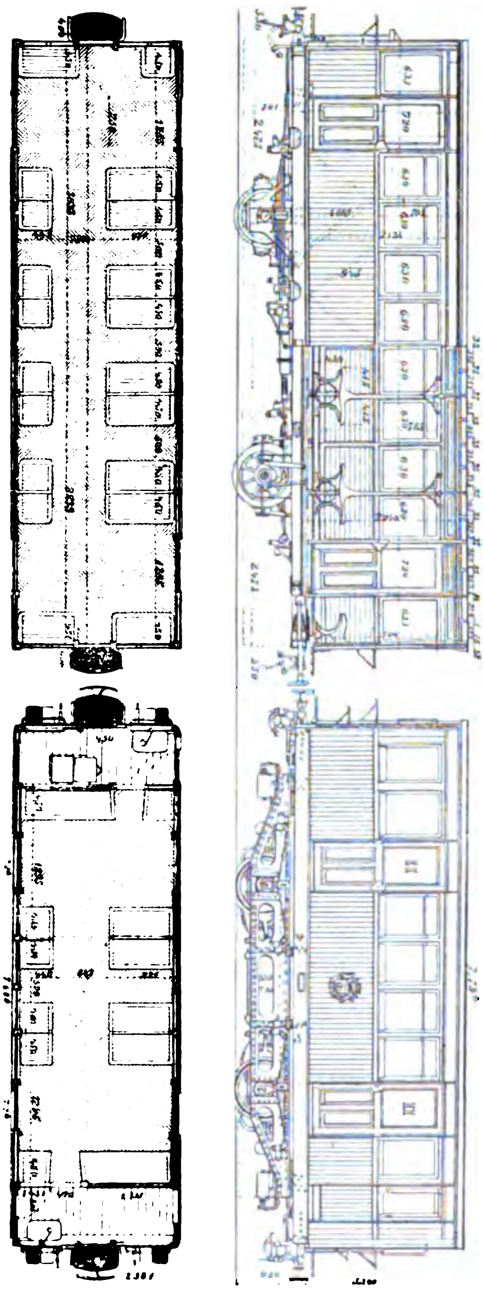


Fig. 76.

Das rollende Material besteht zur Zeit aus 46 Motorwagen, von denen 34 nur an einem Ende, die übrigen 12 aber an jedem Ende Fahrschalter besitzen. Da die beiden Gleise an den Endstationen durch Gleisschleifen verbunden sind und die Wagen stets nur in einer Richtung fahren, so war im allgemeinen die Anbringung eines Fahrschalters an beiden Enden des Wagens nicht erforderlich. Jeder Motorwagen ist mit zwei vierpoligen Westinghouse-Motoren von je 120 PS ausgerüstet, die vollständig eisengeschlossen sind. Dieselben können für einige Zeit eine Überlastung von 100 % aushalten bei einer Spannung von 3000 Volt Wechselstrom in den Spulen und 500 Volt zwischen benachbarten Kommutatorstäben. Im Betriebe arbeiten die Motoren mit einer Spannung von 500 Volt Gleichstrom. Die gesamte elektrische Ausrüstung der Wagen ist von der französischen Westinghouse Co. geliefert Fig. 76 zeigt einen Zug der Pariser Metropolitan im Aufriss und Grundriss. Der Motorwagen

besitzt ein Untergestell, während der Anhänger wie ein gewöhnlicher Eisenbahnwagen gebaut ist.

Die Stromerzeugerstation liegt zu Bercy am Quai de la Rapée. Dieselbe enthält 18 Halbröhrenkessel, die in drei Gruppen von je sechs angeordnet sind; die beiden bisher aufgestellten Dampfmaschinen leisten jede 2600 PS bei 70 Umdrehungen pro Minute. Sie sind direkt mit den Generatoren gekuppelt. Die Stromerzeugeranlage besteht aus Wechselstrom- und Gleichstrommaschinen. Die Wechselstrommaschine ist eine Dreiphasenstrommaschine mit rotierendem Felde und leistet 1500 Kilowatt bei 5000 Volt und einer Frequenz von 25 Perioden in der Sekunde. Die Gleichstrommaschine leistet ebenfalls 1500 PS bei 600 Volt Spannung. Zur Erregung dienen zwei Sätze von Erregermaschinen von je 50 Kilowatt bei 525 Umdrehungen in der Minute, von denen einer als Reserve dient. Jeder Satz besteht aus zwei Gleichstrommaschinen, von denen die eine als Motor unter 600 Volt Spannung läuft, während die andere als Generator Strom von 200 Volt liefert.

Die Strecke zwischen Vincennes und der Louvre-Station wird von der Gleichstrommaschine direkt mit Gleichstrom gespeist; nur im Notfalle soll hier Drehstrom verwendet werden, welcher durch Transformatoren und rotierende Umformer in Gleichstrom verwandelt wird. Die weiter westlich gelegenen Strecken dagegen werden nur mittels umgeformten Drehstromes betrieben. Zu diesem Zwecke wird der Drehstrom in eine Umformerstation an der Place de l'Etoile geleitet, woselbst neun Transformatoren von je 250 Kilowatt aufgestellt sind, welche die Drehstromspannung von 5000 Volt auf 430 Volt reduzieren. Dieser niedrig gespannte Drehstrom wird dann in drei rotierenden Umformern von je 750 Kilowatt in Gleichstrom von 600 Volt umgewandelt, welcher zum Betriebe der Bahn verwendet wird. In der Umformerstation sind ferner zwei Zusatzmaschinen von je 250 Kilowatt, eine Akkumulatorenbatterie von 1800 Ampère-Stunden Kapazität, welche von den Zusatzmaschinen geladen wird, sowie die erforderlichen Schaltvorrichtungen vorhanden. In die Station treten zwei Drehstromspeiseleitungen ein, während drei Gleichstromspeiseleitungen von ihr ausgehen. Die Züge bestehen in der Regel aus einem Motorwagen und zwei Anhängewagen und verkehren zunächst in Zwischenräumen von 10 Minuten. In der Fig. 77 sind einige charakteristische Bilder des »Metropolitan« in Paris dargestellt.

Die von der elektrischen Hochbahn in Berlin (Zoologischer Garten—Warschauer Brücke, die den Westen mit dem Osten verbindet) abzweigende Strecke nach dem Potsdamer Platz ist im Entstehen begriffen. Während der grösste Teil der Bahn oberirdisch geführt ist, musste sie der räumlichen Verhältnisse wegen und aus anderen

Gründen am Potsdamer Platz einen unterirdischen Bahnhof erhalten. Die von Süden auf einem Viadukt herankommende Bahn wird mit einem Gefälle von 1 : 38 am Südringbahnhof unter die Erde hinab-

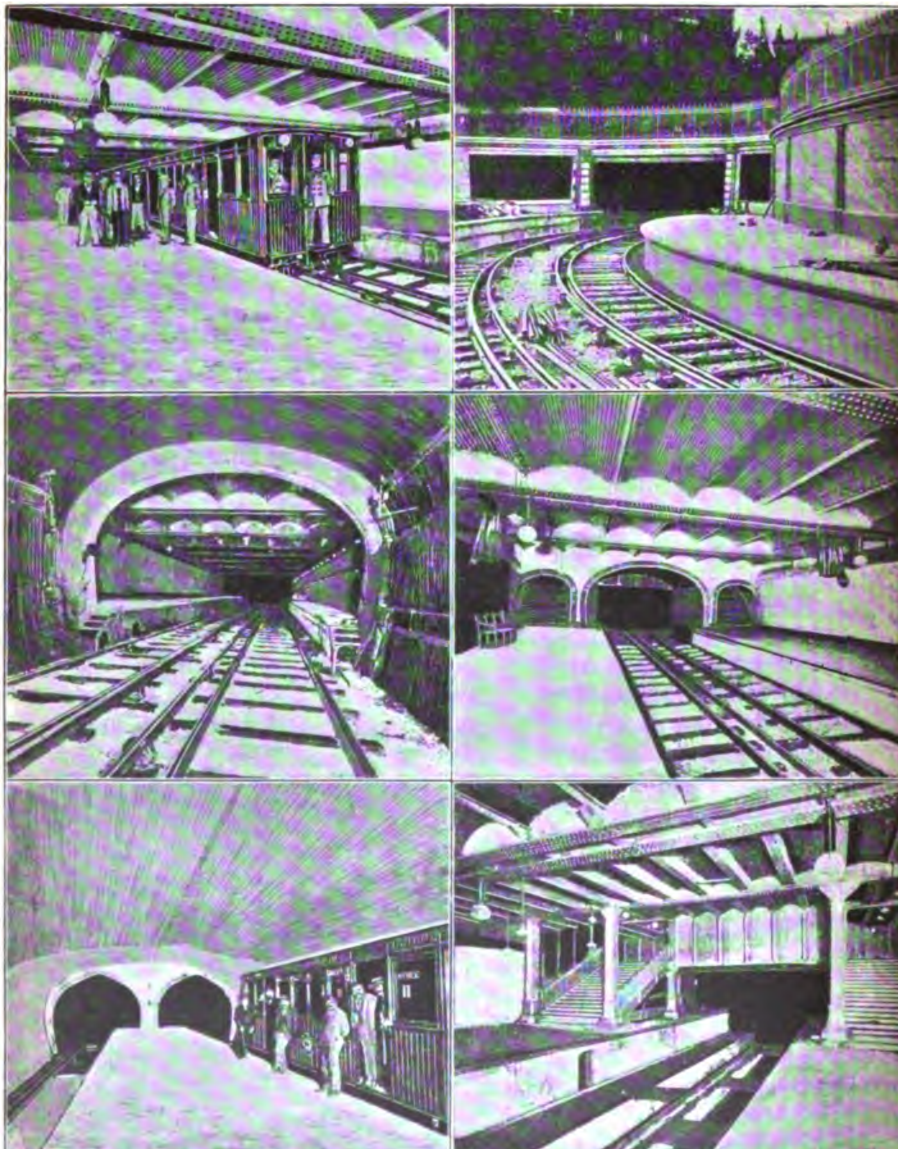


Fig. 77.

geführt (Fig. 78) und setzt sich zwischen den Häusern der Köthener Strasse und dem Empfangsgebäude der Potsdamer Bahn als Unterpflasterbahn fort. Der dort errichtete Bahnhof wird vorläufig als Kopfstation ausgeführt; er soll, wenn die Bahn später in nördlicher Richtung verlängert wird, in einen Aufstellbahnhof verwandelt werden, während ein Durchgangsbahnhof unter dem Potsdamer Platz angelegt werden wird. In Fig. 78 lässt sich noch eine zweite Untergrundlinie im Zuge der Königgrätzer Strasse erkennen, die einem von der Stadt Berlin geplanten Netz von Verkehrslinien angehört. Der Tunnel dieser Bahn soll so tief gelegt werden, dass die im Bau begriffene Unterpflasterbahn über ihn hinweg fortgesetzt werden kann.

Beim Bau der Unterpflasterbahn hat man nach Möglichkeit Rücksicht darauf genommen, dass die angrenzenden Häuser unberührt bleiben. Nur die Häuser Köthener Strasse 12—14 mussten verkürzt werden. Nachdem jedoch der Tunnel fertiggestellt worden ist, werden sie wieder wie zuvor aufgeführt werden. Dass die unmittelbar neben der Tunnelwand befindlichen Häuserwände bis zur Sohle des Tunnels hinabgeführt und deshalb beim Bau unterfahren werden mussten, versteht sich von selbst.

Wie Fig. 79 zeigt, liegt der Bahntunnel zum Teil im Grundwasser. Die Unternehmerin, die Firma Siemens & Halske A.-G.,

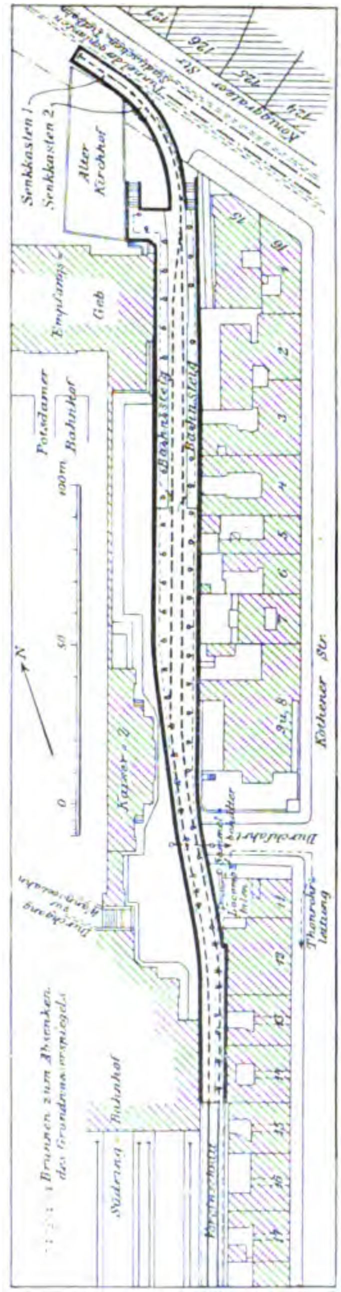


Fig. 78.
Lageplan des Ueberganges der elektrischen Hochbahn in die Unterpflasterbahn und des vorläufigen Endbahnhofes neben dem Potsdamer Bahnhof.

hatte nun beim Vergeben der Arbeiten an die Gesellschaft für den Bau von Untergrundbahnen, Berlin, die Bedingung gestellt, dass die Gesamtbauarbeiten bei abgesenktem Grundwasserspiegel ausgeführt werden sollten. Die Senkung geschieht durch Kreiselpumpen, die von Lokomobilen getrieben werden und das Wasser in einen Behälter schaffen, aus dem es in den benachbarten Spreekanal abfliesst. Zum Abfahren der ausgeschachteten Erde ist ein Gleis angelegt, das ebenfalls nach dem Kanal führt,

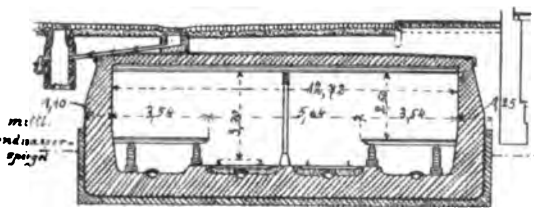


Fig. 79.

wo die Massen in Schiffe abgestürzt werden. Der Beton wird auf demselben Gleise herangeschafft, auf einem Gerüst in einer Betonmaschine zubereitet und mit Hilfe eines Bahngleises an seine Verwendungsstelle gebracht.

Die Baugrube wird in voller Breite nur bis in die Nähe des Grundwasserspiegels ausgeschachtet. Von da an werden für die Widerlagermauern 2 *m* breite Gruben abgeteuft und durch Rundhölzer abgesteift, während der stehenbleibende Kern zunächst als Arbeitsbühne dient. In der Grube wird das Widerlagermauerwerk vorerst pfeilerweise eingebaut, dann werden die Steifen herausgenommen und die Lücken zwischen den Pfeilern geschlossen. Die Reihenfolge der Betonarbeiten ist in Fig. 80 und 81 angedeutet.

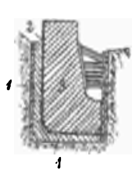


Fig. 80.

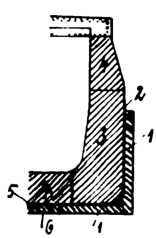
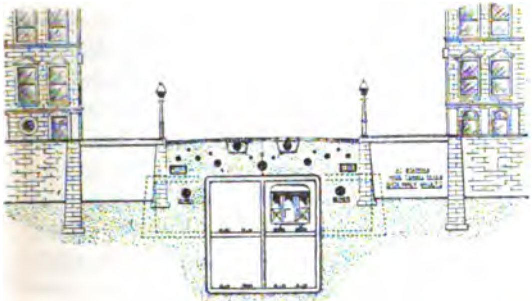


Fig. 81.

Zuerst wird auf der Sohle und an der Rückwand eine 15 *cm* dicke Schutzwand 1 hergestellt und mit einer dreifachen Lage Asphaltfilz 2 mit Hilfe von heissem Asphaltteer überklebt. Alsdann wird der Betonkörper 3 eingebracht und an der Seite aufgerauht, damit man ihn später mit der Tunnelsohle in Verbindung bringen kann. Auf die Seitenmauern wird nunmehr ein rund 2 *m* hoher Betonkörper aufgesetzt, bevor man zur Herstellung der Tunnelsohle schreitet, die wiederum aus einer Schutzschicht 6, einer Filzlage 5 und dem eigentlichen Sohlenkörper 7 besteht. Die Decke des Tunnels wird aus Stampfbeton zwischen Eisenträgern hergestellt.

2. Untergrundbahnen.

Obgleich die Anlage von Untergrundbahnen, d. h. solchen Bahnen, welche unterhalb desjenigen Erdreiches liegen, das von den Stadtverwaltungen und den Grundbesitzern zum Legen von Rohren, Kanälen, Kabeln und zum Graben von Fundamenten, Brunnen, Schächten u. s. w. benutzt wird, äusserst kostspielig ist, hat man sich doch, z. B. in London, sehr frühzeitig damit befassen müssen, in grösseren Tiefen solche Bahnen anzulegen. Ein schematisches Bild solcher



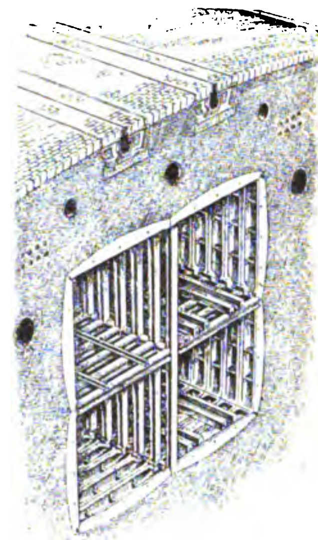


Fig. 82.

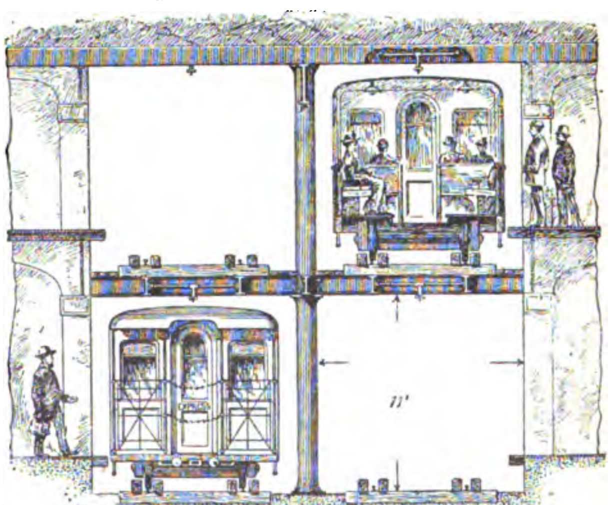


Fig. 83.

Bahnen ist in den Fig. 82 und 83 zur Anschauung gebracht. Hier sind zur Bewältigung des Zugverkehres vier Gleise angeordnet, welche den verschiedenen Linien dienen. Älteren Datums ist die City and South London Railway[1]) und einige amerikanische Anlagen. Als Nachteil gegenüber der Unterpflasterbahn muss hier gelten,

[1]) Siehe ETZ 1896, Heft 32, Seite 492, und auch Troske, Die Londoner Untergrundbahnen, 1892.

dass bei grösseren Tiefen der Zu- und Abgang der Fahrgäste beschwerlich ist. Hierzu kommt, dass eine längere Fahrt unter der Erde nicht zu den Annehmlichkeiten gehört, da es bei solchen Anlagen nicht wie bei der Unterpflasterbahn möglich ist, wenigstens stellenweise Tageslicht für die Fahrgäste zu schaffen. Es erscheint auch nicht unbestreitbar, wem der von den unterirdischen Bahnen benutzte Boden in der Tiefe gehört. Bisher hatte z. B. der Grundstücksbesitzer das unbestrittene Recht, auf seinem Grundstücke Brunnen anlegen zu dürfen, was ihm durch die unterliegende Bahn mindestens beschränkt wird. Man wird bei einer Untergrundbahn nicht immer den Strassenzügen folgen, sondern auch Privatgrundstücke unterfahren, wobei die rechtlichen Verhältnisse in Frage kommen können.

London hat jetzt drei ausschliesslich für elektrischen Betrieb eingerichtete unterirdische Bahnen. Die älteste davon verbindet die City mit dem Vorort Stockwell und ist unter der Themse durchgeführt. Die Bahn liegt ganz in Gussröhren, die nach dem vom verstorbenen Ingenieur Greathead erfundenen System durch den Boden getrieben worden sind. Eine zweite Bahn, die seit Juli 1898 in Betrieb ist, verbindet mit 2,4 *km* Länge die City mit der Kopfstation der Südwest-Eisenbahn in Waterloo und geht ebenfalls unter der Themse durch. Dieselbe unterfährt den Strom in zwei gesonderten Tunnel und benutzt des weiteren hauptsächlich die grösseren Strassenzüge, sodass kein Grund und Boden angekauft zu werden brauchte. Zum Betriebe dient Gleichstrom nach dem Dreileitersystem. Der Fahrdraht des einen Tunnels liegt an dem positiven, der des anderen an dem negativen Aussenleiterpol und das Gleis bildet den Mittelleiter.

Die Stromzuführung erfolgt mittels einer Stromschiene, die in der Mitte des Gleises liegt. Die Stossstellen in dem Fahrgleise sind mittels Kontaktbügel überbrückt, dagegen ist keine besondere Erdverbindung vorhanden. Die Spannung zwischen den Aussenleitern ist 1000 Volt. Nur die beiden Wagen an den Enden des Zuges sind mit Motoren ausgerüstet. Diese sind durch Leitungen, welche durch den ganzen Zug verlaufen, mit Kontrollern an den beiden Zugenden verbunden, sodass der Zug von jedem Ende aus beherrscht werden kann. Da Serien-Parallelschalter verwendet werden, so ist eine grössere Anzahl von Leitungen zwischen beiden Kontrollern vorhanden; diese Leitungen sind an der Decke der Wagen angebracht und werden zwischen je zwei Wagen mit Hilfe von besonderen Stöpselschaltern verbunden, sodass sämtliche Kontakte schnell hergestellt werden können, wodurch es möglich wird, ohne grossen Zeitverlust die Zahl der Wagen in einem Zuge zu den verschiedensten Tages-

zeiten in Übereinstimmung mit dem Umfang des Verkehrs zu ändern. Die Wagen sind amerikanischer Bauart und Ausführung mit einem Längsgang durch den ganzen Wagen; die Länge beträgt etwa 10,5 *m* und die Breite 2,75 *m*. Jeder Wagen fasst 54 Fahrgäste. Der Wagenkasten ruht auf zwei Untergestellen, sodass die Wagen die engen Krümmungen überwinden können, welche der Tunnel enthält, indem er dem Strassenzuge folgt.

Beim Bau der Wagen, welche ausserordentlich ruhig laufen, ist Stahl in grösserem Umfange verwendet worden. Die Elektromotoren sind direkt auf den Achsen der betreffenden Untergestelle montiert, von denen an jedem Ende des Zuges je eins vorhanden ist.

Die Anordnung der Serien-Parallelschalter ist derart getroffen, dass die Stromunterbrechung nie an den Kontakten des Kontrollers stattfindet, sondern in einem Zusatzunterbrecher, welcher durch die Bewegung der Kontrollerkurbel beeinflusst wird. Die Kontakte dieses letzteren Ausschalters können nach Bedarf leicht erneuert werden. Ausserdem ist ein besonderer selbstthätiger Maximalausschalter vorgesehen, welcher im Falle eines Unglücks den Hauptstromkreis unterbrechen soll; ein Nebenschlusselektromagnet an diesem Ausschalter hindert den Führer, weiter zu fahren, wenn das Fahrsignal auf »Halt« steht, und zwar geschieht dies mittels einer kurzen Stromschiene, gegen welche eine an der Lokomotive sitzende Kontaktbürste schleift, wenn der Zug die betreffende Stelle passiert. Diese Schiene ist geerdet, so lange das Fahrsignal auf »Halt« steht. Stellt jetzt der Führer die Kontrollerkurbel in irgend eine der Fahrtstellungen, so liegt der vorerwähnte Elektromagnet über der Bürste und Schiene im Nebenschluss zu dem Motor und unterbricht dann den Hauptstrom, sodass der Zug zum Stehen kommt.

Andere Bahnen dieser Art sind projektiert. In allen diesen Fällen handelt es sich um eine eigens für den elektrischen Betrieb entworfene Bahn. Gleichzeitig sind aber Projekte aufgetaucht, welche bezwecken, die mit Dampf betriebenen Londoner Stadtbahnen auf elektrischen Betrieb umzubauen. Eine der Stadtbahngesellschaften hat sich entschlossen, einen Versuch in dieser Richtung zu machen und für diesen Zweck eine kleine Strecke im Westen von London ausersehen. Es ist das die 1,4 *km* lange Verbindungslinie zwischen Earls Court und Kensington Highstreet. Diese Strecke enthält ziemlich scharfe Kurven und Steigungen von 21 und 23 ‰. Am Oberbau wurde nichts geändert, nur wurden zwei Stromleitungsschienen zugefügt. Diese bestehen aus U-Eisen, das von Isolatoren getragen wird. Die Stromschienen sind zum Gleise symmetrisch angeordnet. Sie haben einen Abstand von 2070 *mm* und liegen 265 *mm* über den Schwellen und 75 *mm* über Schienenkopf.

Vorläufig verkehrt ein Zug, bestehend aus sechs Wagen, von denen der erste und letzte elektrischen Antrieb haben und je 54 *t* wiegen. Die Wagen sind 12 *m* lang und der ganze Zug hat eine Länge von 76 *m*. Die vier Zwischenwagen wiegen jeder unbesetzt 18 *t* und das Gesamtgewicht des ganzen besetzten Zuges ist 200 *t*. Jeder Motorwagen ist mit vier 200 PS-Motoren ausgerüstet. Die Linie wird im Pendelverkehr betrieben, wobei jedoch nur der jeweilig vordere Motorwagen Strom erhält. Die Wagen sind vierachsig mit zwei Drehgestellen. Jeder Wagen hat Kontaktschuhe, sodass die Stromabnahme bei Kreuzungen, wo die Kontaktschienen Lücken haben müssen, nicht unterbrochen wird. Der Zug ist mit Westinghouse-Bremsen ausgerüstet, für welche die Druckluft durch eine elektromotorisch angetriebene Pumpe erzeugt wird. Die Kraftcentrale in Earls Court hat zwei Generatoren von 210 Kilowatt. Der Strom

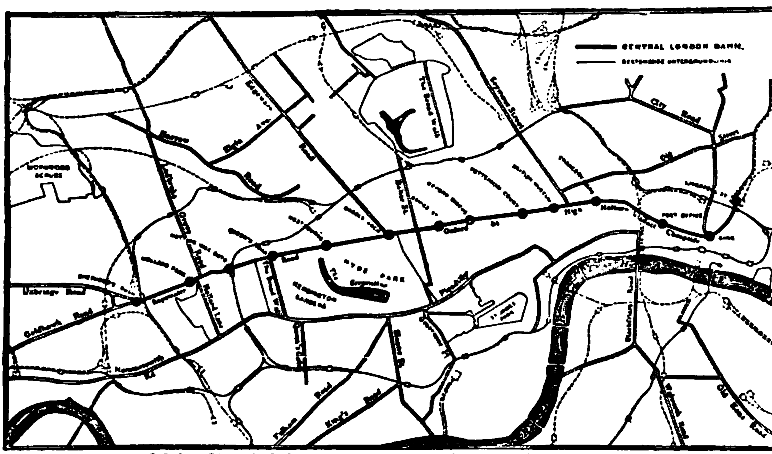


FIG. 2.— PLAN DER CENTRAL-LONDON UNTERGRUND-BAHN.

Fig. 84.

wird durch Kabel mit den nächsten Punkten der beiden Kontaktschienen verbunden. Speiseleitungen werden nicht verwendet. Von den Kontaktschienen ist die eine positiv, die andere negativ, sodass Leitung des Stromes durch die Laufschienen nicht stattfindet. Der Betrieb dieser Linien ist am 21. Mai 1900 eröffnet worden.

Die Central Metropolitan-Untergrundbahn von 9114 *m* Länge durchschneidet die Stadt London von Osten nach Westen und wurde ebenfalls im Jahre 1900 eröffnet. In ihrer Verkehrslage, Fig. 84, ähnelt sie der New-Yorker Stadtbahn, welche durch die Broadway- und Columbus-Avenue geht.

Ein für die Londoner Bahn charakteristischer Querschnitt ist in Fig. 85 gegeben.

32 Lokomotiven versehen den regelmässigen Verkehr. Jede zieht einen Zug von sieben Wagen und jeder Zug fasst 336 Fahrgäste. Das Gewicht des Zuges mit voller Besetzung, die Lokomotive ausgeschlossen, ist 105 *t*. Die durchschnittliche Geschwindigkeit des Zuges wird mit 22,5 *km* in der Stunde angenommen, einschliesslich 20-sekundlicher Aufenthalte auf jeder Station. Es folgt daraus eine höchste Geschwindigkeit von 48 *km* in der Stunde. Zunächst ist ein 2½ Minutenbetrieb eingerichtet, doch wenn der Verkehr sich stark entwickeln sollte, soll später zum 2 Minutenbetrieb übergegangen werden. Diese Möglichkeit ist von vornherein in dem Projekt berücksichtigt worden.

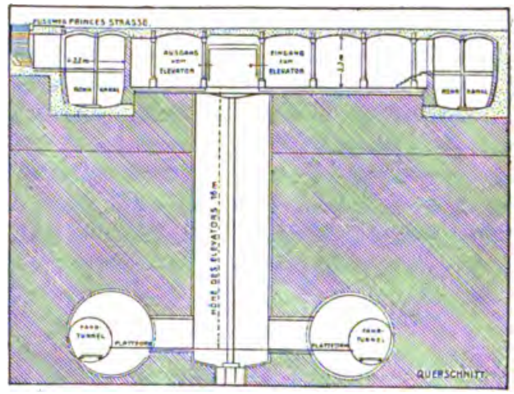


FIG 1. — QUERSCHNITT DER STATION GEGENÜBER DER BANK VON ENGLAND.

Fig. 85.

Der Zug von 115 *m* Länge durchläuft den Tunnel nicht wie gewöhnlich auf ebener Strecke, sondern mit einer Anzahl Steigungen und Gefälle zwischen den Stationen, in der Art, dass die Schwerkraft dem Zug beim Verlassen der Station eine Beschleunigung erteilt und bei der Ankunft auf der nächsten als Bremskraft wirkt, gleichsam nach Art des Vogelfluges mit wiegendem Schwung von Station zu Station, da die Stationen 3 *m* höher als die Zwischenstrecken liegen. Durch diese Anordnungen soll erreicht werden, dass der Kraftbedarf über 33 % geringer ist, als auf einer ebenen Strecke.

Die für das Anfahren notwendige Arbeitsleistung ist daher denkbar günstig und die Lokomotiven können voll ausgenutzt werden. Dieser Umstand begründet einigermassen die Anwendung von Lokomotiven gegenüber sonst üblicher Motorwagen. In der Fig. 86 sind Ansicht, Grundriss und Seitenansichten dieser Lokomotiven dargestellt.

Die Haupt-Abmessungen sind die folgenden:

Entfernung zwischen den Radmitten jedes Drehgestelles: 1,73 *m* und 1,83 *m*.

Zahl der Triebräder: 8.

Durchmesser der Räder: 1,067 *m*.

Entfernung zwischen den zwei Drehgestellen: 4,47 *m* und 4,27 *m*.

Ganzer Radstand: 6,2 *m* und 6,1 *m*.

Ganze Länge der Lokomotive: 8,9 *m* und 8,53 *m*.
Ganze Höhe der Lokomotive: 2,86 *m* und 2,96 *m*.
Raddruck: rund 5 *t*.
Gewicht der Lokomotive: rund 42 *t*.
Maximale Zugkraft beim Anfahren: 6350 *kg*.
Zugkraft bei 35 *km* Geschwindigkeit in der Stunde: 3630 *kg*.
Gewicht jedes vollständigen Motorgestelles: 2940 *kg*.
Gewicht der vollständigen Ausrüstung mit Schutzmantel und Führer: 1130 *kg*.
Gesamtgewicht des Motors: 5450 *kg*.

Aus den Lokomotiv-Zeichnungen ist ersichtlich, wie gross die verschiedenen mechanischen Schwierigkeiten waren, welche über-

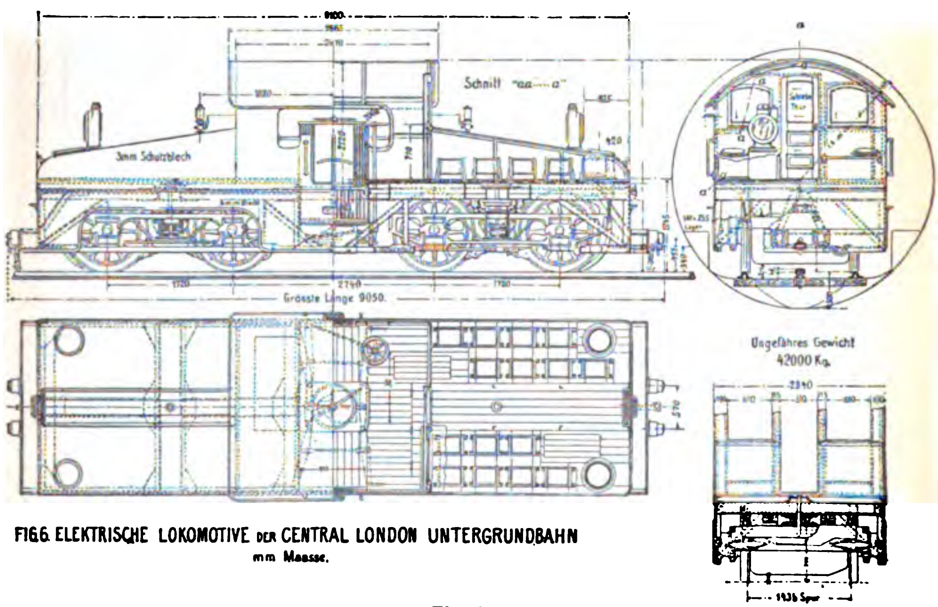


Fig. 86.

wunden werden mussten. Eine Lokomotive mit solch grosser Kraftentwickelung in die Raumgrenzen eines Tunnels von 3,5 *m* Durchmesser einzubauen, ist keine leichte Aufgabe, und der angenommene Entwurf ist das Resultat vereinigter Erfahrungen und Arbeiten der Herren H. F. Parshall von der British Thomson-Houston Company, des Ingenieurs der Electric Traction Company Ltd. und der Ingenieure der General Electric Company.

Die Drehgestelle bestehen aus Flussstahl und werden durch die Achsbüchsen mittels Federn auf jeder Seite des Wagengestelles getragen. Die Achsbüchsen sind aus Bronze und laufen in Guss-

stahlführungen, welch' letztere mit dem Rahmen verbunden sind. Die Seitenrahmen und Kreuzteile sind fest zusammengenietet. Der Haupt-Lokomotivrahmen besteht ebenfalls aus Flussstahlträgern mit Längs- und Kreuzstreben. Die Federungen befinden sich darunter und sind mit dem Drehgestell durch Splint und Scheibe verbunden. Ausser den Stützen auf der Mitte der Drehgestelle ist der Hauptrahmen weiter durch seitliche Träger über den Federn gehalten.

Der Kasten ist auf den Hauptrahmen aufgebaut und besteht aus einem Rahmenwerk aus Winkeleisen mit 200 *mm* Schenkellänge und einem Eisenplattenbelag. Die Bauart des Kastens ist nach jedem Ende gegen die Puffer abgeschrägt, um dem Wagenführer unbeschränkte Übersicht von der Wagenmitte zu gestatten. Oberhalb der Motoren sind im Fussboden des Wagens Klappen vorgesehen. Die Radsterne sind aus Schmiedeeisen gefertigt. Nabe, Speichen und Reifen sind sämtlich sorgfältig aneinander gefügt und unter sich verschweisst. Die Radreifen sind warm aufgezogene Stahlringe und werden durch Schrumpfung in ihrer Lage festgehalten. Die Achsen bestehen aus weichem Schmiedestahl mit 150 *mm* Durchmesser in der Mitte und 120 *mm* Durchmesser an den Schenkeln. Die Räder werden auf die Achsen mit hydraulischem Druck gepresst. Die Montage der Lokomotiven musste unterirdisch erfolgen.

Die Stromentnahme erfolgt von einer dritten Schiene vermittelst zweier Kontaktschuhe, von denen je einer an einem Ende des Hauptrahmens befestigt ist, derartig, dass der Stromlauf bei Kreuzungen u. s. w. nicht unterbrochen werden kann. Ein Spannungs- und ein Strommesser sind in jedem Wagen angebracht. Der Stromlauf wird durch einen kombinierten Ein- und Ausschalter und einen automatischen Stromunterbrecher geschlossen. Die Lokomotiven sind mit Sandstreuapparaten und den zur Bethätigung derselben nötigen Handgriffen versehen. Eine Pfeife ist zum Signalgeben vorgesehen und wird durch komprimierte Luft von einem Bremsluftbehälter betrieben.

Wenn die maximale Spannung 500 Volt beträgt, geben sämtliche Motoren zusammen mindestens 5000 *kg* am Umfang der Triebräder bei einer Geschwindigkeit von 43 *km* in der Stunde und mit einem Stromverbrauch von höchstens 123 Ampère. Die höchste Stromdichte in den Motoren überschreitet bei keiner Geschwindigkeit 2,33 Ampère für 1 *qmm*. Von der Isolation wird verlangt, dass dieselbe 5000 Volt Wechselstrom aushält. Die Motoren sind in Fig. 87 dargestellt.

Für die Schaltung der Lokomotiven wird ein Serien-Parallelschalter mit magnetischer Funkenlöschung benutzt. Derselbe kann je nach Bedarf

1. die vier Motoren in Serie,
2. zwei in Serie und zwei parallel oder
3. alle vier parallel schalten.

Zur Bremsung der Züge dienen Westinghouse-Luftbremsen.

Aus einer vergleichenden Rechnung zwischen Dreileiter-Gleichstrom mit 600 bezw. 1200 Volt und einer $\frac{5000}{500}$ Dreiphasenstromleitung mit Transformierung des niedergespannten Drehstromes auf

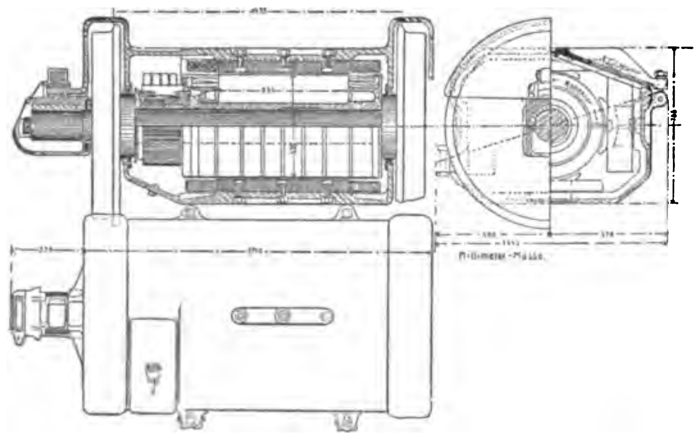


Fig. 87.

500 Volt Gleichstrom ging das letztere System für die Stromfortleitung und Stromzuführung siegreich hervor.

Die Kraftstation befindet sich bei Shepherd's Bush an dem äussersten westlichen Ende der Bahn und setzt 6000 PS in elektrischen Strom von 5000 Volt Spannung um. Bei Nottingham Hill, Davies Street und dem Postamt sind drei Transformatoren-Unterstationen vorgesehen, welche von den Speiseleitungen Strom von 5000 Volt erhalten. Durch feststehende Drehstrom-Transformatoren und rotierende Drehstrom-Gleichstrom-Umformer wird der dritten Schiene und den Laufschienen Gleichstrom von 500 Volt zugeführt. Eine vierte Unterstation bei Marble Arch ist für den Fall vorgesehen, dass sich ein 2 Minutenbetrieb nötig macht.

Die Anlagekosten betragen für das *km* über 6 Millionen Mark, stellen aber bei dem schon jetzt bestehenden Verkehr von 100000 Personen pro Tag eine hinreichende Verzinsung in Aussicht.

Die gesamten Kupferkosten der Speise-Hochspannungsleitung sind nur 250000 ℳ und die Kosten der Verteilungsleitung mit Niederspannung, bestehend aus der dritten Schiene und den Laufschienen, sowie der Schienenverbindung und der Legung der dritten Schiene betragen 315000 ℳ, d. h. 35000 ℳ für 1 *km*.

Von der Kraftstation ausgehend, ist der durchschnittliche Spannungsverlust in dem ersten Abschnitt 0,9 %, in dem zweiten Abschnitt 1,8 % und in dem dritten Abschnitt 2,05 %. Der gesamte Spannungsabfall in allen Kabeln ist demnach nur 4,75 %.

Spannungskurven für die dritte Schiene und die Laufschienen zeigten, wie gut das Transformatoren-System sich zum Spannungsausgleich selbst für eine ausgedehnte Linie eignet. Der maximale Spannungsverlust in der dritten Schiene wird rund 3 Volt sein und in den Rückleitungsschienen nur rund 5 Volt betragen. Die Widerstandsverluste werden also sehr verringert und die Beleuchtung des Zuges ist infolgedessen eine sehr gleichmässige. Das letztere ist ein wesentlicher Vorzug vor einem Dreileitersystem mit demselben Kapitalaufwand.

Die Transformatoren-Unterstationen werden mit der Centralstation durch Kabel verbunden, welche in Tunnelkanälen verlegt sind. Diese Kabel sind durch Papier isoliert und mit Bleimänteln versehen. Die Konstruktion der als Stromleiter dienenden dritten Schiene ist aus Kapitel VIII ersichtlich.

Die Laufschienen haben den in Fig. 88 dargestellten Querschnitt mit zwei Stegen und wiegen 50 *kg* für 1 *m*. Sie sind auf Längsschwellen gelagert. Die elektrischen Stossverbindungen sind durch zwei kreuzweise übereinandergreifende Verbinder hergestellt, ähnlich denjenigen der dritten Schiene, sowie durch »Browns plastic«-Verbinder, welche unter den Stosslaschen angebracht werden. Die Laufschienen sind ausserdem jede 75 *m* mit Querverbindungen versehen. Die Verbindung der beiden Gleise untereinander geschieht überall dort, wo sich eine passende Gelegenheit bietet. Zur Spannungskontrolle auf den Linien sind Prüfdrähte vorgesehen worden.

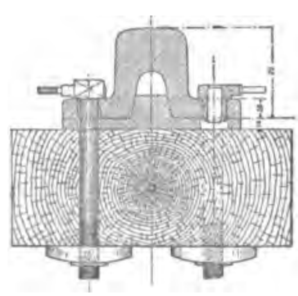


Fig. 88.

Die vier Umformerstationen befinden sich in den Verlängerungen der Aufzugsschächte. Die ruhenden Transformatoren sind mit den Ventilatoren und den Hochspannungsschaltern in dem einen Raum aufgestellt, während die rotierenden Transformatoren, die Generatoren und die Schaltanlagen für die Speisung der Strecken in dem anderen Raum untergebracht sind. Die zwei anderen Hochspannungsleitungen werden am Schaltbrett durch einen dreipoligen Schnellunterbrecher zu gemeinsamen Sammelschienen geführt. Von derselben Type sind zwei Schalter vorgesehen, um jede der zwei Gruppen der Transformatoren mit denselben Sammelschienen in Verbindung zu setzen.

Die Niederspannungs-Transformatoren sind für je 300 Kilowatt-Leistung mit Luftkühlung vorgesehen. Sie erhalten den Strom mit 5000 Volt Spannung und liefern denselben den rotierenden Umformern mit 500 Volt. Die zwei Kabelsätze werden in zwei Abteilungen quer durch den Tunnel zu den Sekundärschalttafeln und zu den Umformern geführt. Die Schaltung ist eine derartige, dass jeder Umformer mit jedem der beiden Kabelsätze in Verbindung gebracht werden kann. Bei Marble Arch und dem Postamt werden je zwei rotierende Umformer, bei Notting Hill und Davies Street jedoch nur ein solcher angewendet.

Auf die Schalttafelabteilungen, welche die Ausschalter mit Magnetunterbrechung tragen, sind noch Strommesser für die Transformatoren- und Umformer-Stromkreise montiert, sowie ein Spannungsmesser, welcher mit den Umformer-Sammelschienen verbunden ist, ferner ein weiterer Spannungsmesser, der die Potentialdifferenz in den Dreiphasenleitungen auf den Unterstationen anzeigt.

Die Sammelschienen sind durch vier Schalter mit vier getrennten Abteilungen der Strecken verbunden. Zwei Anlasswiderstände, vermittels welcher man jeden rotierenden Umformer mit Gleichstrom anlassen und ihn in synchronen Lauf bringen kann, sind ferner noch vorgesehen. Diese Anordnung des Anlassens mit Gleichstrom ist darum gewählt worden, weil es grosse Schwierigkeiten bietet, die rotierenden Umformer mit Dreiphasenstrom anzulassen, da die Selbstinduktion die Spannung im Hauptnetz herunterdrücken würde.

Die rotierenden Umformer haben zwölf Pole, laufen mit 250 Umdrehungen und werden, wie schon erwähnt, imstande sein, jeder mit Dreiphasenstrom oder mit Gleichstrom anzulaufen.

Bei der Unterbringung der Unterstationen in unterirdischen Räumen wurde es nötig, Anordnung zur Entfernung der heissen Luft aus den Transformatorräumen zu treffen. Die heisse Luft wird durch Röhren ausgetrieben, welche nach der Mitte des Wendeltreppenhauses ausmünden.

Einige Betriebsresultate sind im folgenden gegeben:

Der Wirkungsgrad der Dampfmaschine bei voller Belastung mit Kondensation beträgt 92%.

Wirkungsgrad der Dreiphasengeneratoren bei voller Belastung mit besonderer Erregung 95%.

Durchschnittlicher Wirkungsgrad der Stromübertragung, einschliesslich der Verluste in den Unterstationen, bei voller Belastung 90%.

Wirkungsgrad der Lokomotive bei voller Belastung 90%.

Auf jeder Station sind elektrisch betriebene Aufzüge vorgesehen.

Die Abwärtsfahrt zu den unterirdischen Stationen, die rund neun Wohnhaus-Etagen tief liegen, erfolgt mittels eleganter Lifts in rund 25 Sekunden. In 25 Minuten werden die 13 Stationen der ganzen Bahn berührt, während sich hoch oben die interessantesten und schönsten Teile Londons: Cheapside, Holborn, Oxfordstreet, Hydepark u. s. w. ausbreiten.

Die Central London Railway hatte einen Vertrag für den Bau und Betrieb mit der Electric Traction Company Ltd. geschlossen. Diese Gesellschaft schien sich wegen ihrer reichen Erfahrungen ganz besonders für die Ausführung des genannten Projektes zu eignen und so wurde ihr der Bau für eine Summe von ungefähr 65 Millionen Mark übertragen. Mit dieser Summe werden die Baukosten der Gebäude, der unterirdischen Stationen, der Gleisanlage, des rollenden Materials, der Kraftstationen, des Verteilungsnetzes, der Aufzüge und alle anderen Ausrüstungen gedeckt.

Über die ältere elektrische Untergrundbahn in London (Metropolitan district Railway) liegen folgende Betriebsergebnisse vor:

Die 10 *t* schweren Lokomotiven haben einen Antriebsmotor von 50 PS auf jeder der beiden Achsen; bei der höchsten Nettogeschwindigkeit vom 50 *km*/Std. steigt jedoch die Leistung auf 119 PS, beim Anfahren sogar auf 140 PS. Im Jahre 1895 waren die Betriebskosten für:

1. Unterhaltung der ganzen Anlage .	9200	ℳ
2. Zugkraft	114400	»
3. Wagenunterhaltung	9050	»
4. Sonstige Betriebskosten	113200	»
5. Allgemeine Kosten	32600	»
6. Abgaben, Steuern u. s. w. . . .	14400	»
insgesamt daher . . .	292850	ℳ

Die gesamten Anlagekosten betrugen rund 18200000 ℳ. Während des Jahres 1895 wurden 366000 Zugkilometer gefahren; demnach kostete ein Zugkilometer rund 0,8 ℳ oder, wenn man die Zugförderungskosten (Summe 1—3) mit 132650 ℳ rechnet, nur 0,36 ℳ. An die Stammaktien konnte ein Gewinn von 1,25 %, an die Vorzugsaktien von 5 % verteilt werden.

Gewissermassen als Vorstudium Berliner Untergrundbahn-Verhältnisse ist von der Gesellschaft für den Bau von Untergrundbahnen, unter der technischen Führung der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft und der Firma Philipp Holzmann & Co. in den Jahren 1895 bis 1897 die Berliner Spreetunnelbahn erbaut worden.

Diese Bahn nimmt ihren Anfang am Schlesischen Bahnhof, führt durch die Mühlenstrasse die Stralauer Allee, dann durch die Stralauer Dorfstrasse, von da aus durch den Spreetunnel unter der Spree

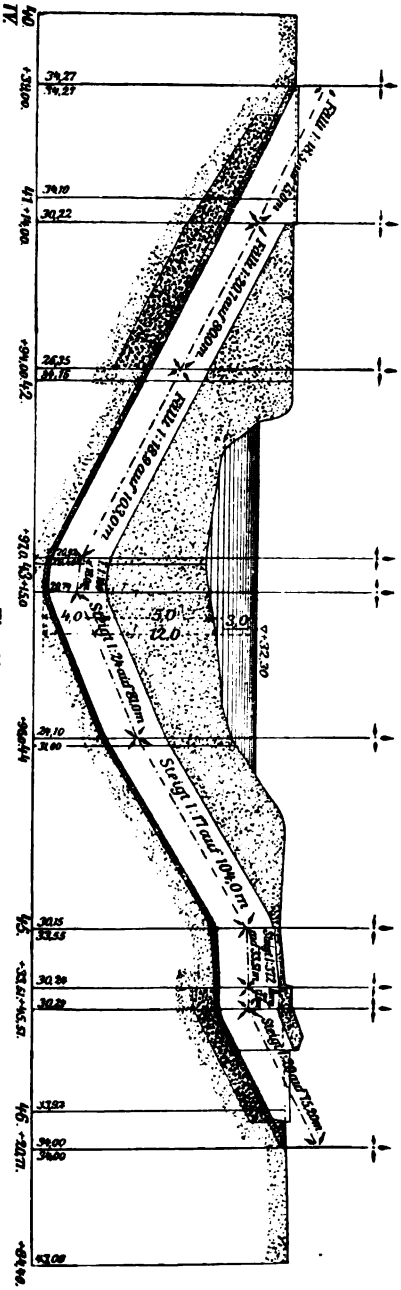


Fig. 89.

hindurch nach Treptow und endet daselbst in einer Gleisschleife. Vom Schlesischen Bahnhof bis zur Warschauer Strasse ist die Bahn doppelgleisig, von da aus bis Treptow eingleisig mit Ausweichen, deren Abstände für Drei-Minuten-Verkehr berechnet sind. Die Länge der Bahn, inklusive Tunnel, beträgt rund 4500 *m*.

Der Tunnel selbst ist 454 *m* lang, eingleisig und weist Kurven mit einem Radius von 50 *m* auf. Der Querschnitt des Tunnels hat einen Durchmesser von rund 4 *m*. Die maximale Steigung in demselben beträgt 1 : 17, an den Rampen 1 : 20 (vergl. Fig. 89). Die Beleuchtung des Tunnels erfolgt durch 32 zu je 4 in Serie geschaltete Glühlampen, und zur Erzielung einer vollständigen Unabhängigkeit vom Bahnstrom werden dieselben von einer Akkumulatorenbatterie aus gespeist.

Der Oberbau besteht aus Rillenschienen Profil Phönix 14b, 7a und 8a und aus Vignolschienen und hat Normalspur.

Die Stromzuführung erfolgt durch Oberleitung.

Der Wagenpark besteht aus 12 Motorwagen und 5 Anhängewagen. Jeder Motorwagen ist mit zwei 20pferdigen Motoren ausgerüstet und enthält 20 Sitz- und 8 Stehplätze. Der geringen Tunnelhöhe wegen dürfen die Wagen nicht so hoch gebaut werden wie in Berlin sonst allgemein üblich, doch ist die Breite derselben die normale. Die geringere Höhe fällt jedoch kaum ins Auge.

Der Spreetunnel kreuzt den 195 *m* breiten Spreefluss zwischen Stralau und Treptow annähernd rechtwinklig und liegt in vom Wasser durchzogenem, oben feinerem, in den unteren Schichten gröberem Sande. Seine Tiefenlage ist so gewählt, dass über dem 4 *m* weiten Tunnelrohre noch eine Sanddecke von mindestens 3 *m* Stärke vorhanden ist. Der tiefste Punkt der Tunnelsohle liegt 12 *m* unter dem mittleren Wasserspiegel der Spree. Fig. 90 zeigt die Tunneleinfahrt.

Die kreisförmige Tunnelröhre ist schachtelhalmartig aus einzelnen ringförmigen Gliedern von teils 0,65 *m*, teils 0,5 *m* Breite zusammen-



Fig. 90.

gefügt und jeder Ring für sich ist wieder aus 9 Platten zusammengesetzt. Diese Platten bestehen aus Flusseisen und besitzen an allen vier Seiten umgebördelte Flanschen, mit Hilfe deren sie mittels Schraubenbolzen zum fortlaufenden Rohrstrang verbunden sind. Die Flanschen bilden für das Rohr gleichzeitig eine äusserst wirksame Versteifung. Zwischen die einzelnen Ringe sind noch flache flusseiserne Reifen gelegt, die nach aussen rippenartig vortreten und dadurch die Steifigkeit der Röhre noch weiter erhöhen. Um das Eisen des Tunnelmantels vor Rost zu schützen und das Geräusch bei der Durchfahrt der Züge zu mindern, ist die Röhre mit einem 8 *cm* starken äusseren und einem 12 *cm* starken inneren Überzuge aus Cementmörtel versehen worden.

Die lichte Weite des Tunnels ermässigt sich infolge des inneren Überzuges auf 3,75 *m*, ein Mass, das für die Durchfahrt eines

Strassenbahnwagens von der üblichen Grösse noch vollkommen genügt. Neben den Wagen bleibt im Tunnel auch noch so viel freier Raum, dass in geeigneten Abständen Ausweichplätze für das Bahnpersonal angeordnet werden konnten. Auf der Sohle des Tunnels ist das Gleis in einen Betonkörper gelegt, in dem eine Rinne gelassen ist, um das Wasser aus den offenen Rampen dem tiefsten Punkte des Tunnels zuzuführen, von wo es eine Wasserstrahlpumpe zu Tag fördert.

Die Schwierigkeit des Unternehmens lag in der Art und Weise, den Tunnel durch den mit Wasser durchsättigten feinen Sand, der das ganze Flussthal der Spree ausfüllt, hindurchzuführen. Diese Schwierigkeit konnte nur mit Hilfe von Pressluft, deren Aufgabe darin bestand, das Wasser zurückzuhalten, bewältigt werden.

Der bereits fertig gestellte Teil des Tunnels wurde von dem behufs Verdrängung des Grundwassers mit Pressluft gefüllten Arbeitsraum durch eine Querwand abgetrennt. In dieser waren zwei Luftschleussen für den Durchgang von Personen und Baustoffen nebeneinander angebracht. Den vorderen Abschluss des Arbeitsraumes bildete der Brustschild, ein kurzes eisernes Rohr, das den Tunnel muffenartig noch etwas umfasste — also ein wenig weiter sein musste, als dieser — und vorn schräg abgeschnitten und durch eine eiserne Wand zugemacht war. In dem Schilde befand sich noch eine weitere Querwand, durch die der Arbeitsraum in zwei Kammern zerlegt wurde; in der vorderen fand das Lösen des Gebirges, in der hinteren der Aufbau und die Fertigstellung des Tunnelmantels statt.

Die Arbeiten, welche zum Einbauen eines Tunnelringes auszuführen waren, verliefen in ganz bestimmter wiederkehrender Reihenfolge. Zunächst wurden die in der vorderen Querwand befindlichen mit Schiebeklappen verschlossenen Öffnungen einzeln aufgemacht und der davor lagernde, durch die Wirkung der Pressluft trockengelegte Sand abgegraben und in die Kammer gefördert. War auf solche Weise vor dem Schilde ein mässig grosser Spielraum gewonnen, so wurde der Schild durch 16 an seinem Umfange angebrachte kräftige Wasserdruckpressen, die sich einerseits gegen die Querwand, anderseits gegen den bereits fertiggestellten Tunnelmantel stützten, um die Breite eines Tunnelringes in das Gebirge vorgeschoben. Dann wurden die Kolben der Pressen zurückgezogen. In den nunmehr zwischen diesen und dem vorderen Ende des Tunnelmantels frei gewordenen Raum wurde zunächst unter dem Schutze des Brustschildes ein neuer Ring eingebaut, der sodann durch Einstampfen von Mörtel in den schmalen ringförmigen Raum zwischen Tunnel und Schild die erforderliche Cementumhüllung erhielt. Die Herstellung der inneren Cementverkleidung bot keinerlei Schwierigkeiten.

Den Gefahren etwaiger plötzlicher Wasser- und Schlammeinbrüche durch die geöffneten Klappen der vordersten Querwand war durch die zweite Querwand, mittels welcher die vordere Kammer gegen die hintere Kammer abgeschlossen war, in der Weise vorgebeugt, dass letztere in ihrem oberen Drittel ohne Öffnungen gelassen war. Dieser obere Raum der vorderen Kammer bildete also gleichsam eine Taucherglocke, die sich niemals ganz mit Wasser füllen konnte und so den Arbeitern stets eine sichere Zuflucht bot, aus der es in jedem Augenblick möglich war, durch ein leicht zu öffnendes Mannloch in die hintere Kammer überzusteigen.

Durch elektrische Beleuchtung sämtlicher Arbeitsräume, durch telephonische Verbindung derselben untereinander und mit dem über Tage befindlichen Maschinenhause und durch ununterbrochene angespannteste sachverständige Beaufsichtigung war dafür gesorgt, dass die Sicherheit der auszuführenden schwierigen Arbeiten allezeit in weitestgehender Weise gewährleistet blieb.

Auf die beschriebene Weise wurde die 374 *m* lange unter dem Treptower Ufer- und dem Spreefluss gelegene Strecke des Tunnels hergestellt. Für die 30 *m* lange unter dem Stralauer Ufer gelegene und scharf gekrümmte Tunnelstrecke wurde von dem bergmännischen Vortrieb abgesehen und statt dessen der Einbau des Tunnels in offener mit Spundwänden eingeschlossener und in der Sohle durch Betonschichten gedichteter Baugrube bewerkstelligt. Die einzurammende Länge der Spundwände wechselte von 6,5—11 *m*, die nasse Baggerung war auf Tiefen von 4,5—9 *m* durchzuführen.

Dieses Verfahren ist für den höher liegenden Teil der Strecke ohne Anstand durchgeführt worden; innerhalb des tieferen, dem Spreeflusse benachbarten Teiles von 30 *m* Länge aber erwies sich infolge zu starken Auftriebes des auszubaggernden Bodens die Dichthaltung der 9,5—11 *m* langen Spundwände als schwierig. Man teilte daher diese Strecke durch Querwände in drei etwa 10 *m* lange Kasten, versah diese mit luftdichten Deckeln und konnte sie nun bequem mit Pressluft füllen, mit deren Hilfe die trockene Förderung des Bodens und die Betonierung der Sohle gelang. Ein eigenartiges Verfahren wurde angewendet, um die Verbindung der in verschiedener Bauweise hergestellten Tunnelstrecken herzustellen. Zu diesem Zweck wurde der Brustschild in den dem Spreefluss zunächst liegenden der drei erwähnten Kasten vorgetrieben, nachdem vorher in der Abschlusswand des letzteren eine genügend grosse Öffnung hergestellt war. Der auf solche Weise in den Kasten vorgetriebene Schild wurde sodann zerlegt und nach Entfernung des Kastendeckels beseitigt, worauf der Einbau des durchgehenden Tunnelrohres erfolgen konnte.

In New-York ist am 24. März 1900 der Bau einer Hoch- und Untergrundbahn, der sogenannten Rapid-Transit-Stadtbahn, begonnen worden.

Der Hauptgeschäftsverkehr drängt sich in der südlichen Spitze der zwischen dem Hudson und dem East River langgestreckten Insel Manhattan, auf der die eigentliche Stadt New-York liegt, zusammen. Nach jenem Geschäftsbezirk sind aus den nördlichen Wohnungsstadtteilen und den Vororten zum Beginn der Geschäftszeit des Morgens ungeheure Menschenmassen zu befördern, die nach dem Geschäftsschluss wieder nach ihren Wohnungen zurückkehren. Zur Bewältigung dieses Verkehrs soll die neue Stadtbahn dienen und sollen auf ihr ausser den gewöhnlichen Lokalzügen auch Schnellzüge in wechselnder Aufeinanderfolge verkehren.

Die Bahn beginnt im Süden, im eigentlichen Herzen der Verkehrsstadt, in der Nähe des Rathauses (City Hall) und des Hauptpostgebäudes an der Strasse Park Row mit einer Schleifen- oder Kehrstation als Untergrundbahn. Bei der 103. Strasse beginnt eine Spaltung in eine östliche und eine westliche Linie. Bis hierhin ist die Bahn viergleisig, derart, dass die beiden Innengleise nur für den Schnellzugs-, die beiden äusseren dem Lokalzugsverkehr dienen. Eine solche Trennung ist notwendig, weil die Schnellzüge mindestens 48 *km*, die Lokalzüge aber nur 22,5 *km* Fahrgeschwindigkeit in der Stunde haben und erstere auch innerhalb der viergleisigen Strecke nur an den wichtigeren Stationen halten sollen. Von der Spaltung an sind die Ost- und Westlinie nur zweigleisig, aber auch auf ihnen verkehren die Schnellzüge.

Unter der Park Avenue, wo der Bahntunnel zum Teil aus dem Felsen ausgesprengt werden muss, hat dieser eine grosse Tiefenlage erhalten müssen, um unter der dort bereits vorhandenen elektrischen Strassenbahn hinwegzukommen. Die Tiefenlage erforderte einen gewölbten, aus Beton mit Mauerwerk verkleideten Tunnel. Im allgemeinen aber ist die Bahn grundsätzlich so hoch als möglich angelegt, sodass der Scheitel des Bahntunnels nahe unter dem Strassendamm zu liegen kommt. Die Tunneldecke ist dann in Trägerkonstruktion ausgeführt und ruht auf eisernen Säulen, woraus sich von selbst der rechteckige Querschnitt des Tunnels ergiebt. Die Linie läuft unter dem Centralpark hinweg, wo die grosse Tiefenlage bis zu 30 *m* unter der Erdoberfläche einen gewölbten Tunnel erforderte. Hier ist auch einer der grossen elektrisch betriebenen Ventilatoren eingebaut, die den Tunnel mit frischer Luft versorgen. Solche Ventilatoren sind überall da angelegt, wo der natürliche Luftzutritt für eine gute Lüftung der Strecke nicht ausreicht. Im übrigen hat man die Erhaltung guter Luft im Tunnel durch eine sorgfältige Trocken-

haltung des Mauerwerkes zu unterstützen gesucht. Es kommt hier ein ähnliches Verfahren zur Anwendung, wie es sich in Paris beim Gewölbebau der Stadtbahn in durchlässigem, unter dem Druck des Seinewassers stehenden Boden bewährt hat. Etwa in der Mitte der Betonschicht werden mehrere Lagen Asbestfilz abwechselnd mit Lagen heissen Asphalts so verlegt, dass der Asphalt stets die erste und die letzte Schicht bildet und der Tunnel nach allen Seiten, also auch in der Decke, von dieser für Wasser völlig undurchlässigen Zwischenschicht umhüllt ist.

Wo es irgend ausführbar ist, soll der Tunnel auch Tageslicht durch die Strassendecke erhalten. Das Einfallen desselben wird durch dicke Glaslinsen vermittelt, die in den Beton eingesetzt sind. Im übrigen ist künstliche Beleuchtung durch elektrische Lampen in Aussicht genommen, die in Decken- und Seitennischen so versenkt sind, dass sie vom Zuge aus möglichst nicht gesehen werden können.

Betreffs elektrischer Untergrundbahnen in Berlin hat die städtische Verkehrsdeputation dem Magistrat über ihre Thätigkeit im Jahre 1897/1898 einen Bericht erstattet. Darnach haben die Beratungen dahin geführt, dass die vorgeschlagenen Linien zum Gegenstande einer Ausschreibung gemacht werden sollen. Nachstehende Zusammenstellung giebt einen Überblick über die geplanten Linien und die ungefähren Kosten der Ausführung: Ringbahn im Anschluss an die Siemens'sche Hochbahn Potsdamer Platz — Stettiner Bahnhof — Warschauer Brücke (als Unterpflasterbahn 4650 *m*, als Hochbahn 5300 *m* und als Tunnel 500 *m*); Ost-West-Linie: Schöneberg — Potsdamer Platz — Schlesisches Thor 7900 *m* Unterpflasterbahn und 250 *m* Tunnel; Süd - Nord - Linie: Kaiser Friedrich-Platz — Potsdamer Platz — Chausseestrasse — Wedding 5000 *m* Unterpflasterbahn, ausserdem Mitbenutzung der Ringbahn vom Potsdamer Platz bis zum Oranienburger Thor und 250 *m* Tunnel. Diese drei Linien umfassen insgesamt 17 550 *m* Unterpflasterbahn. Die Kosten für das Kilometer betragen nach den Angaben von Siemens & Halske 2 100000 ℳ, nach den Angaben der Untergrundbahn-Gesellschaft 3 100 000 ℳ, im Durchschnitt 2 600000 ℳ. 5300 *m* Hochbahn kosten für das Kilometer nach Angaben von Siemens & Halske 1 370000 ℳ, nach Angaben der Untergrundbahn-Gesellschaft ebensoviel. 1000 *m* Tunnelkosten betragen für das Kilometer 5 000000 ℳ oder 5 500000 ℳ, im Durchschnitt 5 250000 ℳ; mithin kosten obige Strecken 17,6 *km* Unterpflasterbahn mit je 2 600000 ℳ gleich 45 760000 ℳ, 5,3 *km* Hochbahn mit je 1 370000 ℳ gleich 7 161000 ℳ und 1 *km* Tunnel 5 250000 ℳ, insgesamt rund 60 000 000 ℳ. Der Magistrat ist den Vorschlägen der Verkehrsdeputation beigetreten und hat die Deputation mit den weiteren Vorbereitungen betraut.

IV.

Hochbahnen.

Dasselbe, was betreffs der Beschränkung des Grundeigentums für die Tiefbahnen gilt, kann man auch für die Hochbahnen geltend machen und käme auch für Schwebebahnen, welche über die Häuser hinweg geführt werden, in Frage. Für den Fahrgast bietet die Hochbahn jedenfalls ein angenehmeres Fahren, als die Tiefbahn, und daher erfreuen sich die Hochbahnen in den Städten einer grösseren Beliebtheit als die Tiefbahnen. Man wird auch betreffs der Kosten bemüht bleiben, lieber Hochbahnen anzulegen, wenn die Verhältnisse in den Strassen es irgendwie angängig erscheinen lassen. Von der Londoner City kann man dies z. B. nicht sagen.

Wohl als einer der ersten Anfänge elektrischer Hochbahnen kann der Siemens'sche Entwurf vom Jahre 1880 genannt werden, welcher in Fig. 91 dargestellt ist. Diese Planung war für Wien vorgesehen, nachdem ein ähnlicher Entwurf für Berlin herausgebracht wurde. In diesem letzteren indess sollte je eine Säulenreihe an jeder Fusssteigkante Aufstellung finden und die Wagen, von noch geringer Breite, auf dem Säulensteg laufen. Das Projekt erschien indess zu damaliger Zeit allzu kühn, desgleichen ein weiteres, die Leipziger Strasse in Berlin mit einem Eisenträgernetz überspannendes Hochbahndoppelgleis. Aus diesen Anfängen heraus entwickelten sich alsbald praktischere Formen, mit denen der Amerikaner schneller als wir zur That schritt.

Wir können nach dem heutigen Stande der Hochbahntechnik das Gebiet der Hochbahnen einteilen in:

1. Gerüstbahnen,
2. Viaduktbahnen,
3. Schwebebahnen { a) einschienige, b) zweischienige.

Vereinigungen der Viaduktbahnen mit den Tiefbahnen kommen je nach den herrschenden Ortsverhältnissen vor.

1. Gerüstbahnen.

Eine eigenartige elektrische Bahn ist in der Nähe von Brighton am Meeresstrande ausgeführt worden.

Schon seit mehreren Jahren bestand daselbst eine elektrische Bahn, bei welcher die Stromzuführung durch eine Mittelschiene erfolgte; es machte sich aber das Bedürfnis geltend, dieselbe bis nach dem ca. 6 *km* von Brighton entfernten Vergnügungsorte Rottingdean zu verlängern. Indessen machte die direkte Weiterführung der Bahn insofern Schwierigkeiten, als der Strand zwischen Brighton und Rottingdean während des grössten Teiles des Tages

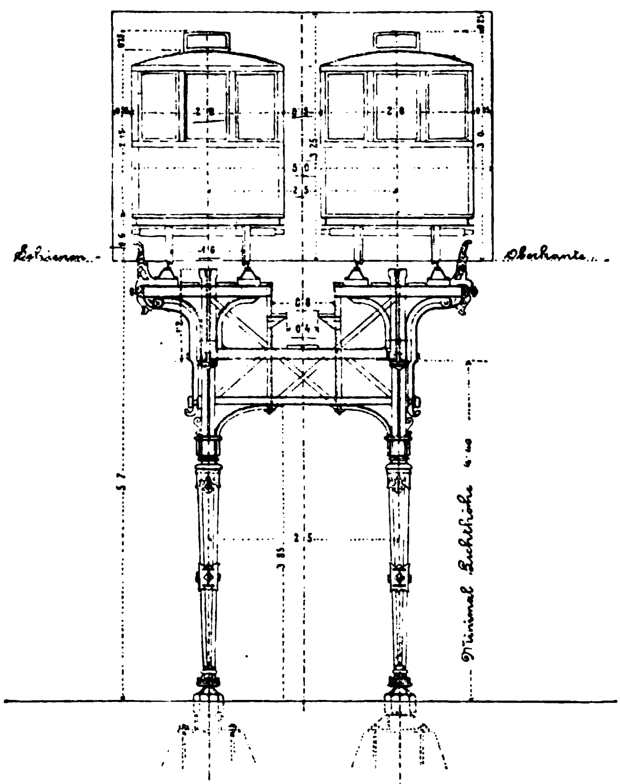


Fig. 91.

überflutet ist, sodass bereits erwogen wurde, die Bahn über die Klippen hinweg fortzusetzen; man entschloss sich jedoch, die Bahn auf einem Teile des Strandes anzulegen, der zwar bei niedrigem Wasserstande vom Wasser nicht erreicht wird, aber doch ca. 5 *m* unter Hochflut liegt. Da der Betrieb der Bahn natürlich nicht vom Wasserstande abhängig gemacht werden durfte, so war eine ganz besondere Konstruktion des Oberbaues und des Wagens notwendig.

Der Wagen wird von vier Säulen getragen, wie dies Fig. 92 zeigt, an deren unteren Enden die Gestelle für die Räder sitzen, welche auf vier Schienen laufen. Wenn die Gleisanlage nicht unter Wasser steht, so bietet sie den Anblick einer gewöhnlichen doppelgleisigen Bahn (Fig. 93). Die Entfernung zwischen den äusseren Schienen beträgt ca. 6 *m*. Die Schienen sind mittels Stahlklammern und Bolzen auf in Zwischenräumen von 4,5 *m* angebrachten Cementblöcken befestigt und zwar gehen die Bolzen zunächst durch Eichenklötze hindurch, welche den Schienen zur direkten Unterlage dienen. Die Cementblöcke ragen weit heraus, um gegen Versandung gesichert zu sein.

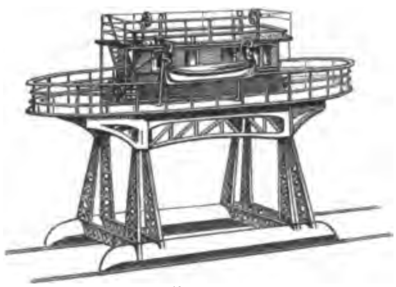


Fig. 92.

Der Wagen ist mit 16 Rädern versehen in der Weise, dass jede denselben tragende Säule auf einem vierrädrigen Wagen ruht, der auf einem Schienenpaare läuft. Diese Rädergestelle besitzen die Form eines doppelendigen Bootes, um das Durchschneiden des Wassers zu erleichtern und etwa in den Weg tretende Hindernisse besser zu beseitigen. Die vier Gestelle werden durch einen Rahmen aus Stahlrohr fest zusammengehalten. Der Räderabstand auf einer Seite

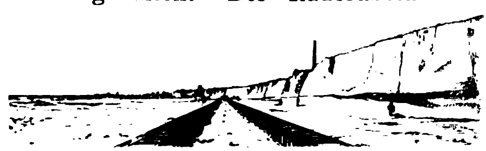


Fig. 93.

beträgt ungefähr 8,5 *m*, wodurch in Verbindung mit der effektiven Spurweite von 6 *m* eine genügende Stabilität gesichert ist. Die Säulen werden durch Kreuzverbindungen versteift und sind an ihrem oberen Ende durch ein Gitterwerk verbunden, auf welchem das Hauptdeck ruht. Der Wagenoberteil ähnelt in seinem Aussehen einer Vergnügungsjacht, und in der That sind verschiedene Anordnungen getroffen in der Absicht, diesen Eindruck so vollständig wie möglich zu machen. Das Deck ist 15,25 *m* lang und 6,7 *m* breit. Ein eisernes Geländer mit Drahtgewebe um das Deck gewährt den nötigen Schutz gegen Herabstürzen. In der Mitte des Decks befindet sich ein im Inneren bequem eingerichteter Salon von 8 *m* Länge und 3,7 *m* Breite und auf diesen Salon ist ein zweites offenes Verdeck aufgesetzt. Das ganze Fahrzeug vermag etwa 200 Personen aufzunehmen.

Der Betriebsstrom wird dem Fahrzeug durch zwei oberirdisch geführte Leitungen zugeführt, von denen derselbe mit Hilfe zweier besonders konstruierter Kontaktrollen abgenommen wird. Auf dem Wagen befinden sich zwei von der englischen Thomson-Houston-Gesellschaft gelieferte Elektromotoren von je 30 PS, welche senkrecht über zweien der Hauptträger angeordnet sind. Der Anker ist durch Kegelräder mit einer vertikalen Welle verbunden, die unten mittels Kegelgetriebes und einfacher Übersetzung auf die Achsen der Räder wirkt.

Die Fig. 94 stellt einen vertikalen Durchschnitt durch eine der das Fahrzeug tragenden Säulen und die Kuppelungen am oberen und unteren Ende derselben dar.

Die Regulierapparate, die denen eines Strassenbahnwagens ähnlich sind, befinden sich auf dem Hauptdeck und zwar an jedem Ende desselben. Die Bremsen werden durch Stangen bethätigt, welche durch die beiden übrigen Säulen hindurchgehen.

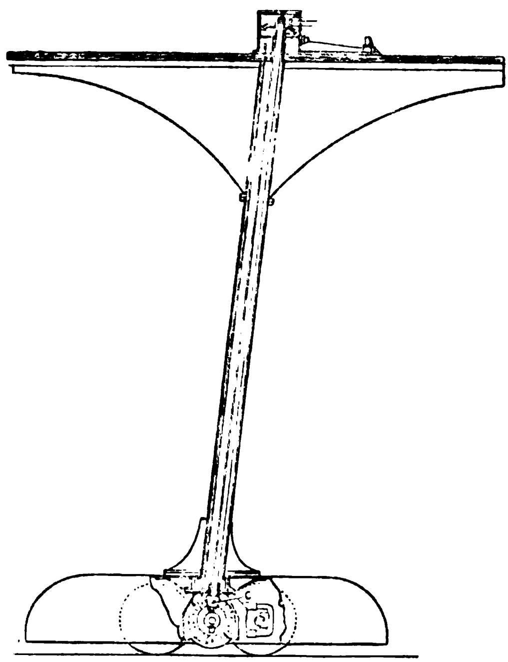


Fig. 94.

Die Stromerzeugungsanlage ist in Rottingdean errichtet und zwar auf einem besonders aufgeführten eisernen Unterbau, der zugleich als Landungsstelle dient. Der in die Leitungen gesandte Strom besitzt eine Spannung von 500 Volt. Die Leitungen selbst sind teils auf Stahl-, teils auf Holzmasten verlegt. Die Schienen werden zur Stromleitung mitbenutzt. Die Anlage soll einschliesslich der Errichtung der beiden Endstationen 600000 ℳ gekostet haben.

2. Viaduktbahnen.

Um die Strassenbahnen von dem übrigen Strassenverkehr unabhängig zu machen, muss man bei Umgehung teuerer Tiefbahnen die öffentlichen Wege und Plätze überdecken und diese Viadukte mit Gleisen für Hochbahnen belegen.

Derartig elektrisch betriebene Hochbahnen sind: die »Liverpool Overhead Railway«, die »Metropolitan West Side Elevated Railroad Chicago«, die »elektrische Stadtbahn Berlin«, »Hochbahn New-York«, »Chicagoer Ausstellungsbahn« (vergl. Brückmann, Z. d. V. d. Ing. 1895, Heft 43, Seite 1277 ff.).

Ehe wir an die nähere Beschreibung dieser Bahnen herangehen, seien noch einige allgemeine Gesichtspunkte angeführt, welche bei der Projektierung und beim Bau dieser Anlagen massgebend waren.

Seitdem in den grossen Städten an Stelle der langsam fahrenden Pferdebahnen die schnellfahrenden und schnellanhaltenden elektrischen Strassenbahnen in allgemeinen Gebrauch gekommen sind, hat das Publikum eine grössere Geschwindigkeit kennen und schätzen gelernt und benutzt um so lieber noch schnellere Beförderungsmittel, selbst wenn es erst eine Strecke laufen und einige Treppen ersteigen muss, um zu den schnellsten Verkehrsmitteln, den Hoch- und Tiefbahnen, zu gelangen. Da, wo elektrische Strassenbahnen mit Hochbahnen parallel laufen, wie in Brooklyn und Chicago, sind jene indessen die weitaus frequentierteren. In New-York hingegen erfreut sich die Hochbahn noch immer eines grossen Verkehrs, weil die bestehenden elektrischen Strassenbahnen nicht dieselben Strecken befahren und dem kolossalen Verkehr, welcher zu und von der Stadt zu bewerkstelligen ist, nicht gerecht werden können.

Die Dampflokomotiven der New-Yorker Hochbahn sind so konstruiert, dass 65 % ihres Gewichtes oder $15^1/_4$ *t* auf deren Triebräder kommen. Mit deren Adhäsion kann eine maximale Zugkraft von 3800 *kg* entwickelt werden. Diese Zugkraft ist erforderlich, um den Zug in 50–60 Sekunden bis zu einer Geschwindigkeit von 32–40 *km*/Std. beschleunigen zu können. Hierbei werden im Maximum 300 PS von der Lokomotive entwickelt. Die Bremsen sind so konstruiert, dass der Zug in der nächsten Station in 13 Sekunden zum Stillstand gebracht wird.

Mit Dampf ist es unmöglich, noch bessere Durchschnittszeiten zu erzielen, als 22 *km* in der Stunde, es sei denn, dass das Gewicht der Lokomotive vergrössert oder das des Zuges verringert wird. Schwerere Lokomotiven würden aber die Sicherheit des vorhandenen Unter- und Oberbaues gefährden, mehrere kürzere Züge beanspruchen eine grössere Leistung zum Betrieb. Die Feuerungskosten für die Heizung der Dampflokomotiven betragen ungefähr 20 % der Gesamtunkosten. Der Kohlenverbrauch für die Stunde und Pferdekraft beträgt ungefähr 3,5—4 *kg*.

Bei guten stationären Kondensations-Compound-Maschinen, welche elektrische Stromerzeuger in der Station treiben, ist der Kohlenverbrauch nur ungefähr ein Drittel obiger Menge.

Würden die Dampflokomotiven abgeschafft, so wäre es möglich, die hohen Arbeitslöhne für das Bedienungspersonal zu vermindern, da für zuverlässige Leute, welche nicht geprüfte Maschinisten zu sein brauchen, das Durchschnittsgehalt nur rund die Hälfte desjenigen eines Lokomotivführers beträgt. Ferner genügt ein Mann zur Handhabung des ganzen elektrischen Mechanismus. Die Reparaturkosten würden wesentlich geringer sein sowohl für die motorische Einrichtung als auch für die Streckenausrüstung. Die Instandhaltung einer Dampflokomotive ist sehr teuer, die durchschnittliche tägliche Laufstrecke beträgt nur ungefähr 160 *km*, nach welcher alles eingehend nachgesehen werden muss. Im Gegensatz hierzu beträgt der Dienst eines elektrischen Motorwagens 400—500 *km* ohne irgend welches Nachsehen.

Unter Ansehung aller dieser Verhältnisse hat man sich entschlossen, die New-Yorker Dampf-Hochbahn in elektrischen Betrieb umzuwandeln, und wird auch die Zeit nicht mehr fern sein, wo die Berliner Stadt- und Ringbahn, für welche die Union E.-G. Berlin einen eingehenden Entwurf ausgearbeitet hat (ETZ 1899), und die 1898 eröffnete Wiener Stadt- und Ringbahn zum elektrischen Betrieb übergehen werden.

Die elektrischen Betriebsmittel für einen elektrischen Zug der New-Yorker Hochbahn bestehen aus den bisherigen Hochbahnwagen, wie Fig. 95 zeigt. Ein Teil derselben ist mit zwei, sich auf Zapfen drehenden Untergestellen ausgerüstet und

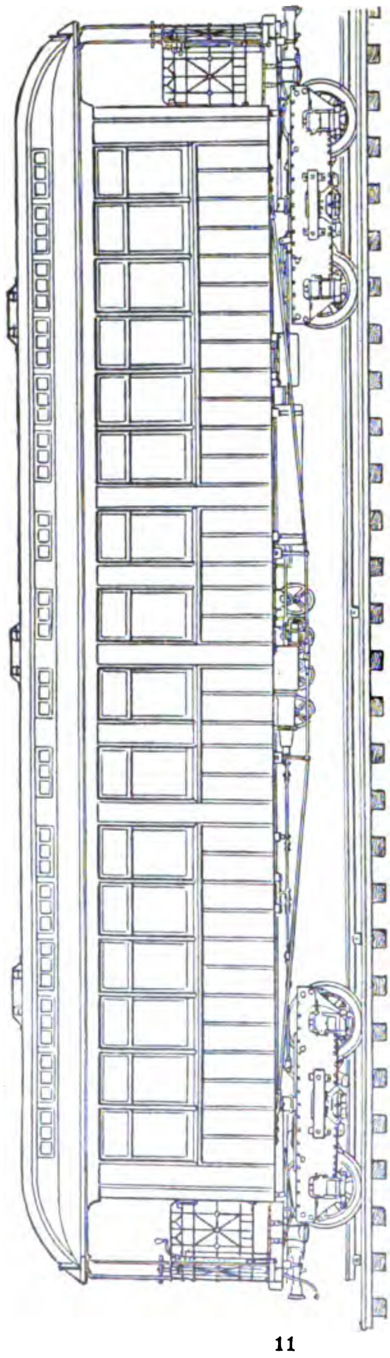


Fig. 95.

zur Aufnahme von elektrischen Motoren eines ganz besonderen Typus geeignet. Die Räder der Untergestelle haben 850 *mm* Durchmesser, der Achsstand beträgt bei den grössten Motoren 1,8 *m* und kann auf 1,65 *m* vermindert werden bei Verwendung von kleineren Motoren.

Das Gewicht eines vollbeladenen Motorwagens beträgt 32 *t*, einschliesslich Untergestell, Motoren und elektrischer Einrichtung. In den meisten Fällen wird es ratsam sein, für jeden Motorwagen nur zwei Motoren vorzusehen und beide zur bequemeren Reparatur in einem Untergestell unterzubringen. Hierbei kommen 19,5 *t* oder 61 % des Motorwagengewichts auf die Treibräder, was etwa dem gleichen Adhäsionsgewicht der Lokomotive entspricht. Das ergiebt für einen Motor rund 500 *kg* Zugkraft. Dieses Motorpaar ist somit befähigt, einen Zug von drei Hochbahnwagen mit einer Geschwindigkeit von 0,55 *m* in der Sekunde zu beschleunigen und eine Geschwindigkeit von durchschnittlich 26,5 *km* in der Stunde einschliesslich Anhalten zu erreichen. Wenn das andere Untergestell des Motorwagens ebenfalls mit Motoren ausgestattet wird, so gilt dasselbe von einem doppelt so langen Zuge und man kann sogar noch einen Wagen mehr anhängen. Das Mehrgewicht wird dadurch ausgeglichen, dass dieser lange Zug nur einen Motorwagen hat.

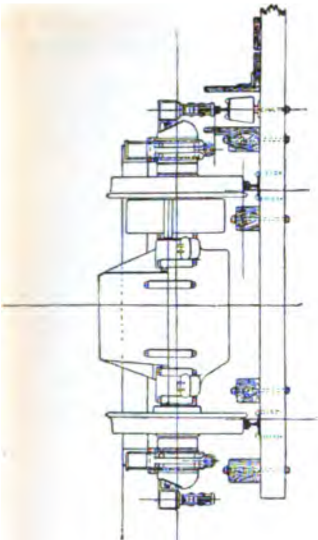
Durch die Erfordernisse des Dienstes an den verschiedenen Hochbahnen wird man mit grosser Vorsicht bei der Grössenwahl der Motoren, welche auf den verschiedenen Strecken angewandt werden, vorzugehen haben. Auf einer Strecke, wie die in der sechsten Hauptstrasse in New-York, ist es richtig, die Motoren so gross als möglich zu wählen, da auf dieser Strecke der Verkehr den ganzen Tag hindurch ein gleichmässiger ist und die Züge von je 4—5 Wagen in ganz kurzen Zwischenpausen folgen können. In Brooklin und Chicago aber, wo der Verkehr für kurze Zeiten des Tages gross und während des Restes des Tages nur schwach ist, erscheint es wünschenswert, möglichst kurze Züge oder gar nur einzelne Motorwagen mit kleineren Motoren zu verwenden. Es ist möglich, die einzelnen Motorwagen oder kurzen Züge während der Zeit des starken Verkehrs als längere Züge gekuppelt fahren zu lassen, ohne dass sich mehr als nur ein Wagenführer auf der vordersten Plattform befindet, vorausgesetzt, dass ein entsprechender Apparat, durch welchen sämtliche Motoren des Zuges geschaltet werden können, angebracht ist. Ein kleinerer Motor würde alsdann die volle Adhäsion ausnutzen können, dagegen besteht der Nachteil, mehrere Schaltapparate und Motoren unterhalten zu müssen. Zudem kommt, dass für das Tonnenkilometer mehr Arbeit verbraucht wird, denn die für einen Anhängewagen benötigte spez. Zugkraft ist kleiner

als die für einen Motorwagen. Diese Differenz ergiebt sich aus der grösseren inneren Reibung des Motorwagens.

Die Fig. 96 zeigt das Baldwin-Normal-Hochbahn-Untergestell mit zwei normalen 200 PS-»L«Motoren. Diese bewegen einen vollbeladenen Hochbahnzug von drei Wagen mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 26,5 *km* in der Stunde.

Für die Motoren, welche sich am besten zum Hochbahndienst eignen, können folgende Grundsätze gelten:

Da hier weder mit Staub noch mit Wasser zu kämpfen ist, kann der Motor zur besseren Luftcirkulation an den Armaturen und Feldmagneten fortwährend offen gelassen werden, wodurch eine Mehrleistung des Motors erreicht wird. Der offenstehende Motor kann viel bequemer nachgesehen und besser von Öl und Schmiere freigehalten werden.



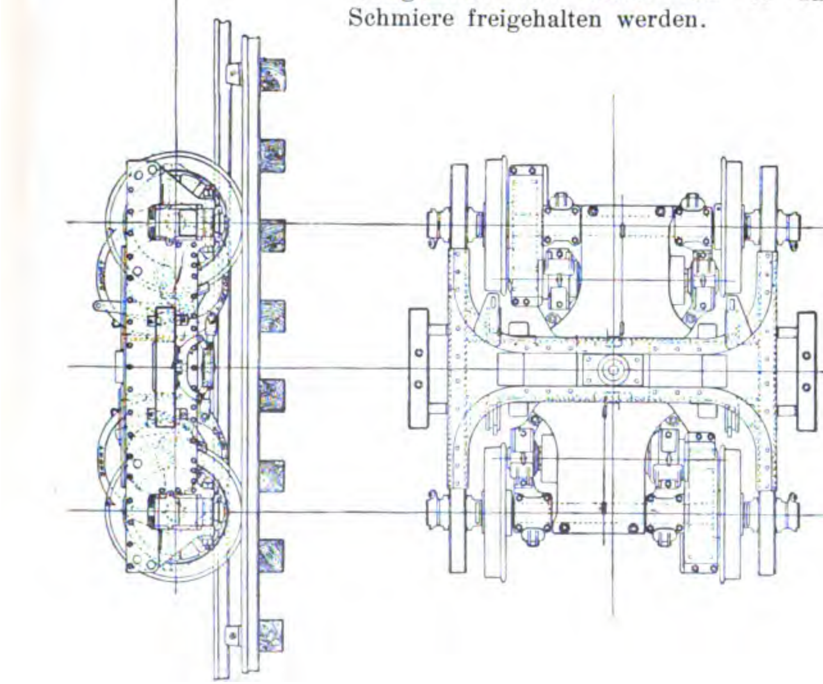
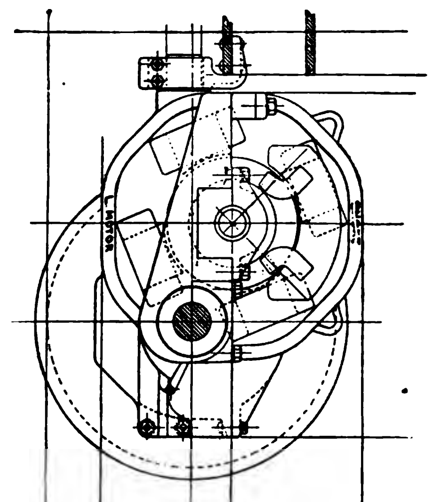


Fig. 96.

Die beigegebene Zeichnung (Fig. 97) zeigt die Form eines Motors, welcher für den amerikanischen Hochbahndienst bestimmt ist. Dieser Motor ist zum Auseinandernehmen eingerichtet, wenn das Untergestell unter dem Wagen vorgezogen ist. Beim Heben der oberen Hälfte des Magnetkerns durch einen oberhalb angebrachten Kran wird der Anker freigelegt. Jede Motorrahmenhälfte ist zweipolig und mit nur wenigen Kupferdrahtwindungen versehen. Das magnetische System des Motors ist symmetrisch.



Der Anker besitzt grossen Durchmesser und die Radachse ist

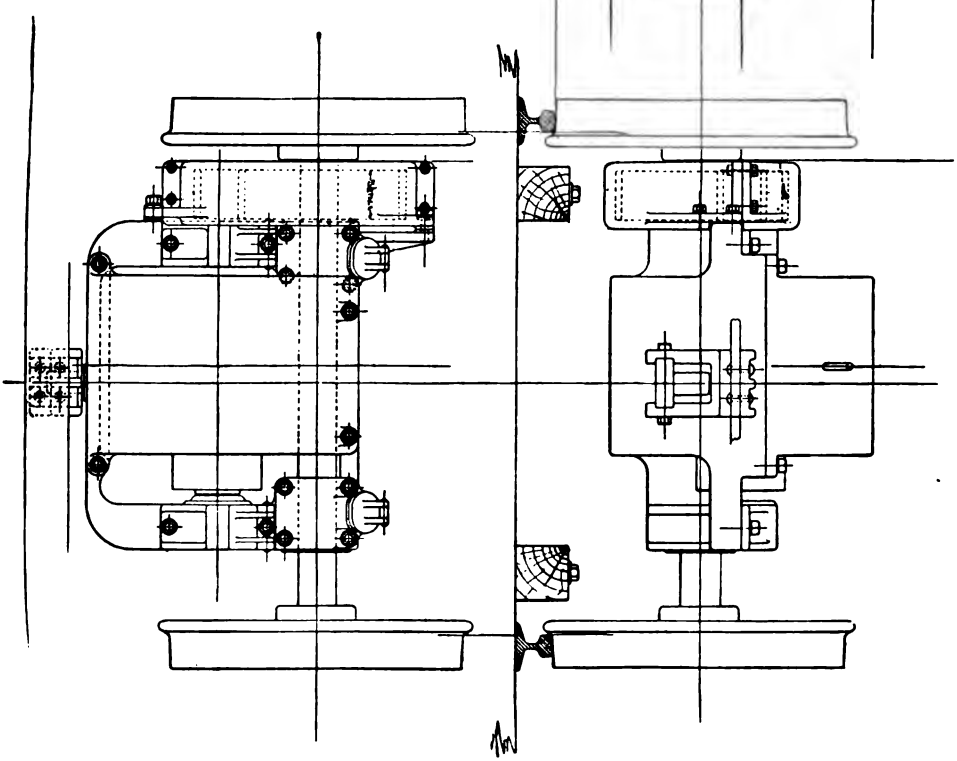


Fig. 97.

dicht in das Magnetgehäuse eingearbeitet, sodass die Entfernung der Achsenmitten (Laufachse, Motorachse) möglichst kurz ist. Die Übertragungsräder können somit klein sein und lassen genügend Raum zwischen Schienenoberkante und Radschutzkasten.

Der besonders grosse und schwere Anker ist mit Nuten versehen, um die Windungen zu schützen. Jede Windung ist zum Kommutator geführt, wodurch die Selbstinduktion der Armaturwindungen vermindert wird und nur eine geringe Spannung zwischen den Kommutatorlamellen herrscht. Ein funkenloser Gang ist dadurch gewährleistet.

Die Ankerlager sowie die Achsenlager sind aus Bronze. Das Öl wird von unten durch Röhrchen zugeführt und bestreicht die ganze Länge des Lagers.

An den Enden der Lager sind Vorkehrungen getroffen, um alles abtropfende Öl, welches auf die Strecke und die darunter liegenden Strassen gelangen könnte, auffangen und in die betreffenden Behälter zurückführen zu können. Die Lager sind ausserordentlich lang und die Achsen haben grossen Durchmesser. Die Ankerlager können mit dem Motor herausgehoben werden, nachdem die Armaturen durch einen Kran gefasst werden. Das Triebwerksgehäuse ist aus Gusseisen in zwei Hälften gegossen. Die untere Hälfte ist am Motorgestell fest, während die obere Hälfte abgehoben werden kann. Das Gehäuse ist öldicht abgeschlossen und das Triebwerk läuft in Öl. Der ganze Motor ist aus bestem Gussstahl gefertigt.

Die erste, von vornherein als solche gebaute elektrische Hochbahn in Amerika, von Hoboken nach Jersey City führend, wurde von der Thomson Houston Co. im Auftrage der North Hudson Railroad Co. gebaut, und zwar zunächst nur 2 *km* lang, im Anschluss an eine 1,6 *km* lange Kabelbahn. Trotzdem hier die Verhältnisse auch für den Kabelbetrieb günstig lagen, traten doch schon nach kurzer Zeit die Vorzüge des elektrischen Betriebes so augenscheinlich zu Tage, dass derselbe auf der ganzen Strecke eingerichtet wurde.

Die Motorwagen sind mit je zwei 25-pferdigen Motoren ausgerüstet; die oberirdische Kontaktleitung ist auf Trägern zwischen den Gleisen nach der Methode der Doppelarmaufhängung geführt.

In Europa war die erste elektrische Hochbahn die in Liverpool im Jahre 1893 eröffnete Hafenquai-Bahn von rund 10 *km* Länge. Sie durchläuft den sehr ausgedehnten Liverpooler Hafen und bietet einen ausserordentlich schönen Ausblick auf diesen. Die Bahnviadukte bestehen zumeist aus horizontalen Blechträgern, die auf eisernen Säulen ruhen, welch' letztere rund 16—32 *m* voneinander entfernt

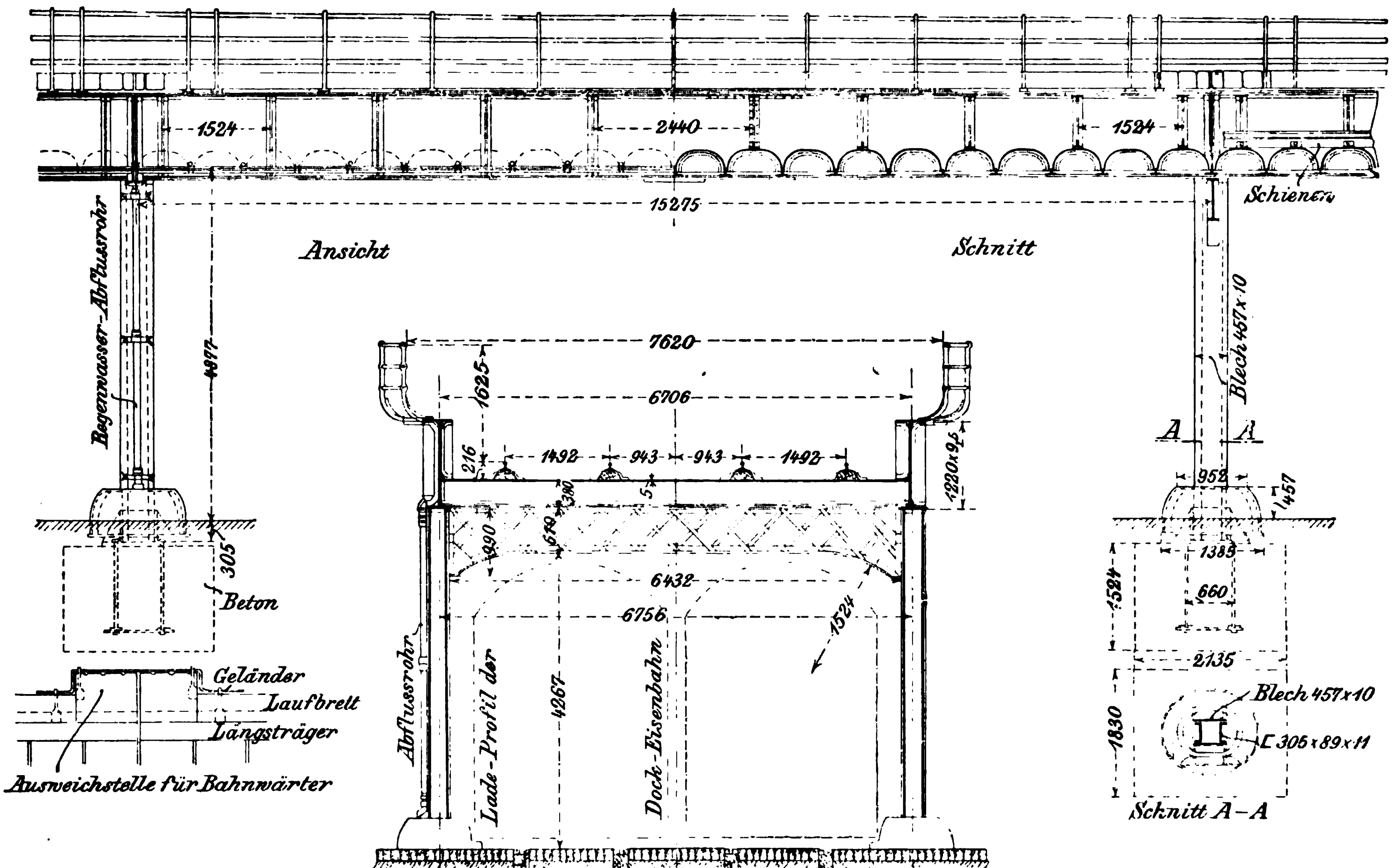

Regenwasser-Abflussrohr
Ansicht
Schnitt
Schienen
Blech 457 x 10
Beton
Geländer
Laufbrett
Längsträger
Ausweichstelle für Bahnwärter
Abflussrohr
Lade-Profil der
Dock-Eisenbahn
Blech 457x10
⊏ 305 x 89 x 11
Schnitt A–A

Fig. 98.

sind. In den Fig. 98 und 99 ist der Säulenbau mit den Quer- und Längsträgern dortiger Anordnung nebst Einzelheiten dargestellt. Auf den Säulen ruhen 1,22 *m* hohe Blechlängsträger, die durch gewölbte Querträger aus Blech und T-Eisen verbunden sind. Auf diesen Querträgern sind die hölzernen Längsschwellen unmittelbar befestigt. Zwischen die Längsschwellen sind Querhölzer gesetzt, welche mittels Porzellanisolatoren die stählernen Strom-

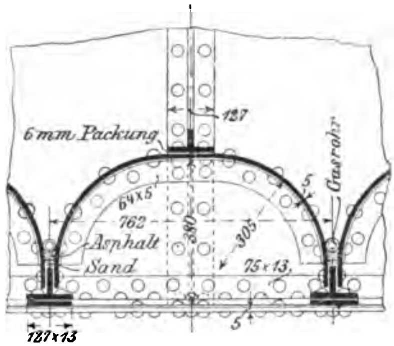


Fig. 99.

leitungsschienen tragen. Die Laufschienen werden zur Stromleitung mitbenutzt.

Die Betriebsmittel bestehen aus Motorwagen (Fig. 100), welche 16 Plätze I. und 41 Plätze II. Wagenklasse enthalten. Die Wagen haben drei Seitenthüren, einen mittleren Durchgang und sind mit elektrischer Beleuchtung und Westinghouse-Bremse ausgerüstet. Die Luftbehälter werden am Ende jeder Fahrt gefüllt. Die 13,73 *m* langen, 2,59 *m* breiten Wagenkasten ruhen auf zwei Drehgestellen (Fig. 101), von welchen jedoch nur eines ein Motordrehgestell ist. Ein betriebsfähiger Motorwagen wiegt leer 15810 *kg*, wovon auf den elektrischen Motor 3225 *kg*, also 20 % entfallen.

Jeder Zug besteht aus zwei Wagen, welche so zusammengestellt sind, dass die Führerabteilungen an den Enden liegen. Da beide Motordrehgestelle von einem Stande bethätigt werden können, brauchen die Züge am Ende der Fahrt nicht gedreht zu werden. Der Zugverkehr ist zu den einzelnen Tagesstunden verschieden geregelt; von 9 Uhr morgens bis $5^1/_2$ Uhr nachmittags ist er am stärksten, alsdann unterhalten 12 Züge einen 5-Minutenverkehr. Der mit 114 Personen vollbesetzte Zug wiegt 38910 *kg*; er braucht nach angestellten Versuchen bei einer mittleren Geschwindigkeit von 24,3 *km*/Std., ausschliesslich der Aufenthalte, rund 55 elektrische PS, bei rund 85 Ampère und 484 Volt.

Sehr interessant war die Aufstellung dieser Viadukte, weil vor allem die Bedingung gestellt war, dass während des Baues der

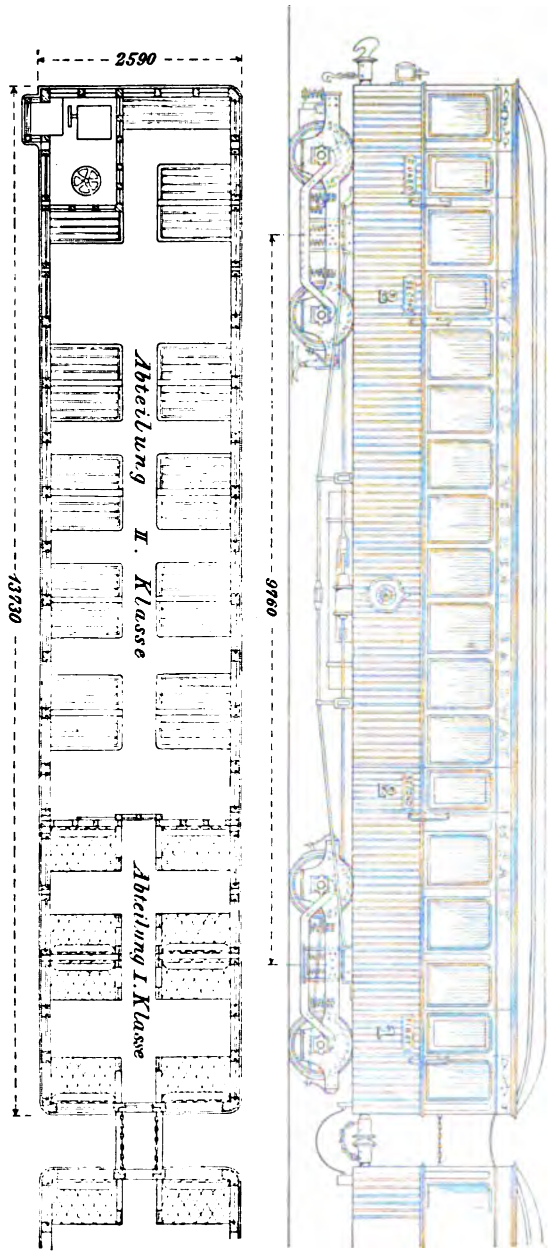


Fig. 100.

Bahn der Verkehr zwischen den Docks und der Stadt nicht gestört werden dürfe. Man musste daher von einem Gerüste zum Aufbaue des Oberbaues ganz absehen und ist einfach so vorgegangen, dass man zuerst die Säulen aufstellte und dann von einem Ende der Bahn aus die Träger mittels eines Kranwagens aufbrachte und das Gleis sofort darauf verlegte..

Diese Montierung ist so schnell gegangen, dass man in einer Woche bis zu 10 solcher Brückenfelder aufstellen konnte.

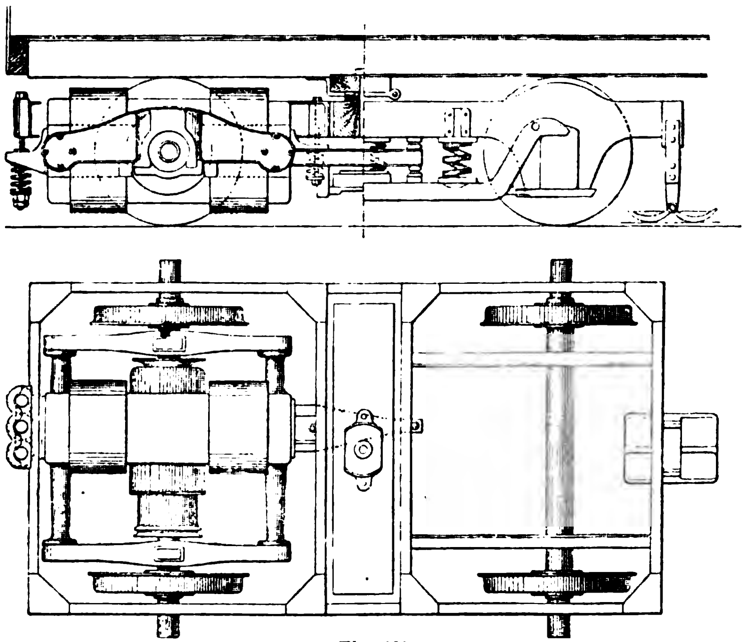


Fig. 101.

Interessant ist bei dieser elektrischen Hochbahn die Selbstsignalisierung. Die etwa 11 *km* lange Bahn hat 13 Haltestellen und mithin ebenso viele Blockstationen, die, durch Menschenhand bedient, sehr teuer zu stehen kämen, da mindestens 26 Beamte dazu erforderlich wären. Die automatische Blockstation besteht darin, dass die Züge selbst beim Vorüberfahren vor einer Blockstation die Strecke hinter sich solange absperren, bis sie von der nächsten Haltestelle wieder abfahren. Dadurch ist der gleiche Sicherheitszustand erzielt, wie bei der Bedienung der Blockapparate durch Signalbeamte, d. h. es ist ein Einholen von Zügen ausgeschlossen, wenn der Zugführer das Signal nicht übersieht und weiterfährt.

Nahe der Mitte der Strecke liegt die Kraftstation mit einer Gesamtleistung von 1600 PS. Die Betriebsspannung ist 460–500 Volt,

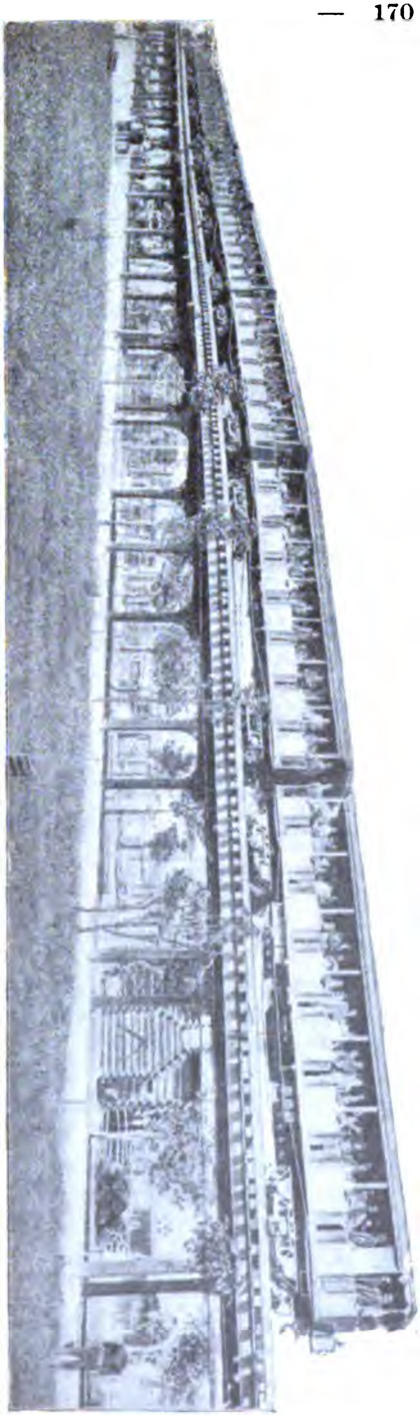


Fig. 102.

je nach der Verkehrsdichte. Die mittlere Fahrgeschwindigkeit übersteigt 20 *km*/Std. nicht.

Die Gesamt-Betriebskosten für das Zugkilometer schwanken zwischen 18 und 21 ₰, je nach der Verkehrsdichte.

Die Anlagekosten belaufen sich auf 11 Millionen Mark, d. h. 1100000 ℳ für das Kilometer.

Weitere Angaben siehe: ETZ 1896, Heft 32, Seite 496 und Z. d. V. d. Eisenbahn-Verwaltungen 1894, No. 31, 33 und 34.

Die Chicagoer Weltausstellung im Jahre 1893 konnte des Wahrzeichens elektrisch betriebener Hochbahnen nicht entbehren. Auf Holzgerüsten wurde die in Fig. 102 dargestellte Intramuralbahn erbaut und vor, während und nach der Ausstellung zum ständigen Verkehr auf dem weitverzweigten Ausstellungsplatz in Betrieb gehalten. Die Wagen waren dem Zwecke und der Jahreszeit entsprechend als offene und vielthürige gebaut, und die Bahn erfüllte trotz ihres primitiven Aussehens voll und ganz ihre Bestimmung.

Die Bahn durchzog den Ausstellungsplatz, Jacksonpark in einer Länge von rund 5 *km*, wovon rund 4,5 *km* doppelgleisig angelegt waren, und verbindet zehn Stationen miteinander.

Über die hier zur Anwendung gekommene Stromleitung ist im Kapitel II Näheres mitgeteilt.

Die Kraftstation enthielt unter anderen drei direkt gekuppelte Stromerzeuger, System Thomson-Houston, von bezw. 1500, 750 und 200 Kilowatt Leistungsfähigkeit. Die grösste von diesen Dynamos war direkt mit einer 2100-pferdigen Corliss-Dampfmaschine gekuppelt. Zur Veranschaulichung der Dimensionen dieser Dynamo seien die folgenden Zahlen angeführt: Das Totalgewicht der Maschine betrug 90 *t*, der Anker hatte einen Durchmesser von 3,15 *m*, der Kollektor von 2,25 *m* und das Schwungrad von 7,2 *m*.

Das rollende Material bestand aus 15 Zügen von je einem Motor- und drei Anhängewagen und ausserdem noch drei Reserve-Motorwagen.

Die Motoren wurden unter sorgfältigster Berücksichtigung aller früheren Erfahrungen für diese Bahn neu konstruiert. Jeder Wagen war mit vier Motoren ausgerüstet, welche die vier Achsen der beiden Drehgestelle durch eine einfache Zahnradübersetzung antrieben und zusammen normal 530 PS entwickelten. Man sah von der Verwendung direkt auf die Wagenachsen gesetzter Motoren hauptsächlich deswegen ab, weil dieselben alsdann sehr schwer geworden wären und sich bei den Proben gezeigt hatte, dass die Zahnradübersetzung auch bei der hohen vorgesehenen Geschwindigkeit von 50 *km* in der Stunde noch tadellos arbeitet. Die Wickelung des Ankers und die Form des Magnetsystems war ähnlich derjenigen der Strassenbahn-Motoren.

Die Methode der Geschwindigkeitsregulierung stellte eine neue und sehr vorteilhafte Ausbildung der bei Strassenbahnen angewendeten dar. Beim Angehen des Zuges wurden sämtliche vier Motoren in Serie hintereinander, dann bei zunehmender Geschwindigkeit paarweise parallel und in voller Fahrt alle vier parallel geschaltet. Dadurch erzielte man mit normaler Stromstärke gleich beim Angehen die volle Zugkraft und konnte mit gutem Wirkungsgrad verschiedene Geschwindigkeiten einhalten.

Alle Wagen waren mit Westinghouse-Luftbremsen versehen. Die Luftpumpe wurde wie üblich durch einen kleinen Elektromotor bewegt, welcher seinen Platz auf dem Führerstand des Motorwagens hatte.

Die elektrische Metropolitan West Side-Hochbahn in Chicago.

Am 6. Mai 1895 wurde die elektrisch betriebene Hochbahn in Chicago in Betrieb gesetzt. Die Bahnanlage war ursprünglich für den Betrieb mit Dampflokomotiven geplant, die günstigen Ergebnisse des elektrischen Antriebes, die sich bei der vorgenannten elektrischen Weltausstellungsbahn von Chicago auch in finanzieller Hinsicht er-

gaben, führten jedoch dazu, die Anwendung der elektrischen Zugkraft in Aussicht zu nehmen.

Die Gesamtlänge dieser Bahn beträgt rund 26 *km*, die Länge der Gleise rund 58,5 *km*. Auf einer 3 *km* langen viergleisigen Strecke sind zwei Gleise ausschliesslich für den Schnellverkehr besonderer Züge bestimmt, welche die ganze Strecke ohne Aufenthalt durchfahren und zur bequemen und schnellen Verbindung des Geschäftsmittelpunktes der Altstadt mit den westlichen Stadtteilen dienen sollen.

Auf den zweigleisigen Strecken sind Aussenbahnsteige, auf den viergleisigen Mittelbahnsteige zwischen je zwei zusammengehörigen Gleispaaren angeordnet. Die Stationsentfernung ist durchschnittlich 520 *m*. Die Fahrgeschwindigkeit einschliesslich der Aufenthalte ist rund 21 *km* in der Stunde. Der eiserne Unterbau der Hochbahn ist darauf berechnet, die bewegliche Belastung einer 30 *t* Lokomotive mit zwei Personenwagen zu tragen. Die geringste Lichthöhe der Konstruktion über der Strassenfläche beträgt 4,27 *m*. Die Schienenoberkante liegt 1,45 *m* über der Unterkante der 1,22 *m* hohen Blechträger. Die schmiedeeisernen Stützpfeiler, die in je einer Reihe für jedes Gleis angeordnet sind, haben eine Höhe von 4,42—5,64 *m* und stehen im allgemeinen auf einem 2,13 *m* tiefen quadratischen Fundament von 2,44 *qm* Grundfläche. Jedes Gleis wird von einem Hauptträgerpaar und einer Stützenreihe getragen. Der Abstand der Stützen schwankt zwischen 12,11 *m* und 15,24 *m*. Die Seitenverstrebung ist für eine Horizontalbeanspruchung von 660 *kg* für das Meter Gleis berechnet. Die Laufschiene ist 44 *kg/m* schwer.

Die Kraftstation liegt 2 *km* vom östlichen Endbahnhof entfernt; von hier gehen in westlicher Richtung 18 Speiseleitungen aus, welche alle 90 *m* die Kontaktschiene speisen.

Die Fahrschiene und das eiserne Tragegerüst sind auch hier zur Stromleitung benutzt.

Die elektrischen Einrichtungen sind sämtlich von der General Electric Company hergestellt worden.

An Betriebsmitteln sind zunächst 55 Motor- und 100 Anhängewagen für je 48 Sitzplätze vorhanden, welche zu Zügen von je drei Wagen zusammengesetzt werden. Die vierachsigen Motorwagen haben vorläufig nur je zwei Motoren, können jedoch später mit je vier Motoren versehen werden, um alsdann Züge von sechs Wagen befördern zu können. Die Grundrissdimensionen der Wagen sind aus Fig. 103 ersichtlich.

Die grösste Dachbreite beträgt 2720 *mm*, die grösste Dachhöhe ist 3914 *mm* über Schienenoberkante

Die Motorwagen besitzen sehr starke Stahluntergestelle, wiegen ohne Motoren rund 18 *t* und im vollen Dienstgewicht 28,5 *t*, wobei jeder Motor 1800 *kg* wiegt.

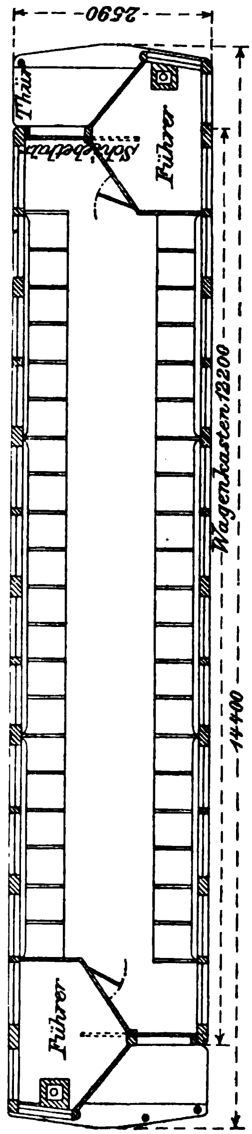


Fig. 103.

Die Kuppelung der Wagen erfolgt selbstthätig durch van Dorn'sches Kuppelungssystem.

Anstatt automatisch wirkender Bremsvorrichtungen sind sogenannte straight air-Bremsen vorgesehen. Sollte die Bremse infolge eines Bruches des Rohres unwirksam werden, so kann die Drehrichtung der Motoren umgekehrt und der Zug zum Stillstand gebracht werden.

In dem Abteil des Wagenführers befindet sich vorn in der rechten Ecke das Ventil für die Luftbremse, links daneben der Schalter zur Hintereinander- und Parallelschaltung der Motoren. An der linken Wand ist der Stromunterbrecher angebracht, welcher bei allen Überlastungen gewöhnlicher Art in Thätigkeit tritt. Eine Bleisicherung, die ebenfalls in dem Abteil angeordnet ist, soll nur in aussergewöhnlichen Fällen in Wirksamkeit treten und den Stromkreis unterbrechen. In dem einen Abteil befindet sich die vermittelst eines automatisch durch den Luftdruck im Hauptbehälter ein- und auszuschaltenden Motors bethätigte Luftpumpe. Der automatische Regulator zur Bethätigung des Elektromotors befindet sich an der linken Seite der Kabine unterhalb des Ausschalters. In der anderen Kabine, in welcher keine Luftpumpe aufgestellt ist, befindet sich an gleicher Stelle ein kleiner Widerstandsregulator für den Luftpumpenmotor. Vor dem Wagenführer ist ein Luftdruckanzeiger mit zwei verschieden gefärbten Zeigern angebracht, von denen der eine den Druck im Hauptbehälter, der andere den Druck im Luftzuführungsrohr und in den Bremscylindern anzeigt. Die beiden Ausschalter an beiden Enden des Wagens sind parallel geschaltet; sobald der Führer seinen Stand wechselt, wird der am hinteren Ende befindliche Unterbrecher ausgeschaltet.

Die Wagen werden durch je zwölf elektrische Heizapparate der General Electric Heating Company von New-York geheizt. Dieselben sind zu je vier hintereinander geschaltet und verbrauchen, wenn sie sämtlich eingeschaltet sind, einen Strom von 14 Ampère bei 500 Volt oder 7 Kilowatt. Auch der Wagenführerraum besitzt einen solchen Heizapparat. Ferner sind die Motorwagen mit elektrischen Kopflichtern, sowie Signallichtern versehen. Das Kopflicht befindet sich in der Mitte des Wagens, das Signallicht zu beiden Seiten desselben.



Fig. 104.

Die Stromleitung und Stromübertragung ist im Kapitel II behandelt.

Die Anordnung der Gleise, Weichen und Kontaktschienen zeigt Fig. 104. Vergl. auch ETZ 1895, Heft 33, Seite 519 ff.; desgl. ETZ 1896, Heft 32, Seite 497.

Am 31. März 1900 ist in Chicago die neue von der Northwestern Elevated Railroad Company erbaute elektrische Hochbahn von etwas über 10 *km* Länge eröffnet worden, welche Chicago in nordwestlicher Richtung von der Union Loop in der 5. Avenue und der Lake Street bis zur Wilson Avenue im Sheridan Park durchschneidet. Nicht weit vom Ausgangspunkte in der Lake Street überschreitet die Bahn auf der Wells street-Brücke den Chicagofluss und wendet sich dann in nördlicher Richtung nach der Michigan street und von dort nach der Franklin und Chicago Avenue bis zum Institutsplatz. Dieser Teil der Bahn von rund 1,5 *km* Länge ist zweigleisig, der übrige Teil bis zum Endbahnhof von 8,5 *km* Länge

viergleisig ausgeführt. Die viergleisige Strecke läuft zunächst zwischen der Franklin- und Sedgwick-Strasse in nördlicher Richtung bis etwa 60 *m* südlich von der North Avenue, wendet sich dann nach Westen und läuft parallel der North Avenue bis zu einem Punkte etwa 45 *m* östlich der North Halsted street, wo sich westlich zur Daytan street und dann nordwestlich zur Wilson street wendet. Dann läuft die Bahn bis in die Nähe der Graceland Avenue und darauf in westlicher Richtung parallel mit dieser Avenue bis zur Stella street. Von diesem Punkte aus geht sie in genau nördlicher Richtung bis zur Wilson Avenue. Längs der Bahn sind 21 Haltestellen vorgesehen. Die beiden inneren Gleise der viergleisigen Strecke sind für den Schnellverkehr, die beiden äusseren Gleise für den Lokalverkehr bestimmt, während die zweigleisige Strecke zwischen dem südlichen Ausgangspunkte und der Chicago Avenue sowohl dem Schnell- als dem Lokalverkehr dienen. Die Schnellzüge halten ausser an den Endstationen nur an 5 Haltestellen und legen die ganze Strecke von 10 *km* in 20 Minuten zurück, während die Lokalzüge, welche an allen Stationen halten, hierzu 29 Minuten brauchen.

Der Oberbau, welcher von stählernen Gitterträgern getragen wird, ist von der Northwestern Elevated Company ausgeführt worden. Der stählerne Unterbau wurde von der Union Bridge Company, die Befestigung und Verlegung der Gleise von der North American Construction Company ausgeführt. Die Schienen haben eine Länge von 18 *m* bei einem Gewicht von 36,3 *kg* für das Meter.

Die Stromzuführung geschieht nach dem System der dritten Schiene. Die hierzu verwendeten Schienen, welche 9 *m* Länge und ein Gewicht von rund 22 *kg*/*m* haben und durch biegsame Kupferseile elektrisch miteinander verbunden sind, sind auf an einem hölzernen Träger angebrachten Zweimantelisolatoren verlegt. Alle 450—600 *m* wird der Strom von den Speisekabeln mittels isolierter kupferner Verbindungskabel der dritten Schiene zugeführt. Diese Verbindungsstücke sind mit kupfernen Schellen verlötet, welche, um das Kabel herumgelegt, mit Zinn ausgegossen und verschraubt wurden. Die Verbindungsstellen sind mit Teer angestrichen. Die Verbindung der Verbindungskabel mit der dritten Schiene wird durch Kupferplatten hergestellt, die einerseits mit den Kabelstücken verlötet, anderseits mit der dritten Schiene vernietet sind. Als Speisekabel sind durchweg blanke verseilte Aluminiumkabel von drei verschiedenen Stärken, 690, 532 und 400 *qmm*, in Verwendung. Jedes Kabel besteht aus 49 Adern, welche in Litzen von je 7 Adern verseilt sind. Die grösste Stärke hat etwa 38 *mm* Durchmesser. Die Kabel sind zu beiden Seiten des Oberbaues verlegt und an der

Dunning street mit bleiarmierten Kupferkabeln verbunden, die in unterirdischen Kanälen nach der Kraftstation laufen. Die Aluminiumkabel sind auf glasierten Isolatoren in einer aus Tannenholz bestehenden Rinne in der Mitte des Oberbaues verlegt. Diese Rinne ist abgedeckt und dient als Fusssteg. Die Kabel sind alle 3 *m* unterstützt und alle 55 *m* mit Anderson'schen Spannisolatoren verankert. Die Kraftstation liegt an der Southport- und Fullerton-Avenue ungefähr 900—1200 *m* von der Bahn entfernt. Im fertigen Ausbau wird dieselbe vier direkt gekuppelte Maschinenaggregate mit einer Gesamtkapazität von 5300 Kilowatt enthalten. Gegenwärtig sind erst zwei Aggregate von 900 und 1800 Kilowatt im Betrieb. Der Rest der zum Betrieb der Linie erforderlichen Kraft wird gegenwärtig provisorisch von der Hobbie Street Station der Chicago Union Traction Co. geliefert. Das rollende Material der Bahn besteht aus 37 Motorwagen und 110 Anhängewagen, welche sämtlich von der Pullmann Palace Car Co. gebaut sind. Jeder Motorwagen ist mit zwei General Electric Motoren von je 160 PS ausgerüstet. Die beiden Motoren befinden sich an dem einen Ende des Wagens und sind auf dasselbe Untergestell montiert. Sie sind für eine grösste Geschwindigkeit von 53 *km* in der Stunde bei einem aus drei Wagen bestehenden Zuge und einem Strom von 600 Volt Spannung an den Motorklemmen berechnet. Die mittlere Geschwindigkeit der Schnellzüge beträgt 48 *km*, diejenige der Lokalzüge 22 *km* in der Stunde. Die Wagen haben eine Breite von $2^2/_3$ *m* und eine Länge von $14^1/_3$ *m*. Jeder Wagen hat zwei Abteile, von denen das eine etwas grösser ist als das andere, um den Motor und Luftkompressor für die Bremsen aufnehmen zu können. Als Bremsen dienen Westinghouse'sche automatische Luftdruckbremsen. Die elektrische Ausrüstung der Wagen ist von der General Electric Co. geliefert. Der den Kompressor bethätigende Motor hat eine Leistung von 3 PS. Ein vollständiger Motorwagen wiegt einschliesslich der Untergestelle und Motorwagen 25 *t*, ein Anhängewagen 14,5 *t*. Die Motorwagen haben nur seitliche Sitze, die Anhängewagen sowohl Längs- als Quersitze. Der Radstand beträgt bei den Motorwagenuntergestellen 1,8 *m*, bei den Anhängewagenuntergestellen 1,5 *m*. Die Wagenremise an der Wilson-Avenue hat eine Länge von 120 *m* und eine Breite von rund 20 *m*. Dieselbe ist ganz aus Stein und Stahl gebaut und zur Aufnahme von 40 Motorwagen fähig. Zur Verbindung der Wagenremise mit der eigentlichen Bahn dienen 2 *km* einfaches und 0,34 *km* doppeltes Gleis, sodass die gesamte einfache Länge der Bahn 41 *km* beträgt, wovon 38,3 *km* für den regulären Verkehr dienen.

Die Berliner elektrische Stadthochbahn (Warschauer Strasse — Charlottenburg), konstruiert und erbaut von Siemens & Halske, A.-G., Berlin, befindet sich zur Zeit noch im Bau, soll aber im Jahre 1902 vollständig eröffnet werden. Die Haltestellen, deren Reihenfolge zugleich die Linienführung kennzeichnet, sind am Zoologischen Garten auf dem Wittenberg- und Nollendorfplatz, an der Potsdamer Strasse (Ecke Bülowstrasse), an der Möckern- und Belle-Alliance-Brücke, an der Prinzenstrasse (Ecke Gitschiner Strasse), am Kottbuser Thor, am Görlitzer Bahnhof (Manteuffelstrasse), am Schlesischen und Stralauer Thor und an der Warschauer Brücke. Sie führt über den Mittelstreifen des Strassenzuges Tauenzien-, Kleist-, Bülowstrasse, welchen sie bis zum Dennewitzplatz verfolgt. Hier durchbricht die elektrische Stadtbahn den Häuserblock zwischen der Dennewitzstrasse und dem Gelände der Potsdamer Bahn. Letzteres und die Gleise der Potsdamer Bahn werden mittels Brücken von 88 und 140 *m* Stützweite übersetzt. Mit einer Kurve von 110 *m* legt die elektrische Stadtbahn sich dann parallel zur Ringbahn und folgt dieser zum Potsdamer Platz, indem sie sich nach Überschreitung des Landwehrkanals mit einer Neigung von 1 : 40 längs der hinteren Grenze der Grundstücke an der Köthener Strasse senkt, sodass sie den Droschkenplatz des Potsdamer Bahnhofes als Unterpflasterbahn unterfahren kann und unter der Ausfahrt von diesem Bahnhofe in der Haltestelle Potsdamer Platz, an der Königgrätzer Strasse endigt.

Die beschriebene Linie vom Zoologischen Garten nach dem Potsdamer Platz bildet den westlichen Zweig der elektrischen Stadtbahn. Der östliche Zweig derselben vom Potsdamer Platz nach der Warschauer Strasse fällt von dem Potsdamer Platz bis zum Treffpunkte der Schöneberger und Luckenwalder Strasse mit dem westlichen Zweige zusammen und schwenkt dann durch den Häuserblock zwischen der Luckenwalder und der Trebbiner Strasse nach dem Landwehrkanal ab. Die elektrische Stadtbahn überschreitet hier zunächst das Schöneberger Ufer und gleich dahinter mit derselben Brücke die Anhalter Bahn und den Landwehrkanal, sodass sie weiter auf dem nördlichen Uferstreifen des Kanals, nämlich zunächst am Halleschen Ufer bis zur Belle-Alliance-Brücke und dann noch bis zum künftigen Durchbruch der alten Jakobstrasse, sich erstrecken kann. Von hier ab liegt die Bahn über dem Mittelstreifen der Gitschiner und Skalitzer Strasse bis zur Spree, welche sie mittels eines Aufbaues auf der neu erbauten Oberbaumbrücke überschreitet, um schliesslich in unmittelbarer Nähe der Haltestelle Warschauer Brücke der Berliner Stadt- und Ringbahn zu endigen.

Die vorbeschriebenen beiden Zweige der elektrischen Stadtbahn sind in Höhe der Trebbiner Strasse durch ein Gleispaar untereinander

verbunden, sodass auch die durchgehende Linie vom Zoologischen Garten nach der Warschauer Brücke ohne Berührung des Potsdamer Platzes betrieben werden kann. Es ergiebt sich hiernach ein grosses Bahndreieck über dem alten Dresdener Bahnhof. Ausser den kleinsten Halbmessern von 60 *m* Länge am Zoologischen Garten kommt nur einmal bei dem Einbiegen der Bahn aus der Oberbaumstrasse auf die Oberbaumbrücke ein Bogen von 80 *m* Halbmesser und in dem vorerwähnten Bahndreieck auf dem Dresdener Bahnhofe ein solcher von 100 *m* Halbmesser vor. Im übrigen sind kleinere Halbmesser als 120 *m* nicht in Anwendung gebracht. Die Höhe der Schienenoberkante der elektrischen Stadtbahn ergab sich aus der Forderung, dass ihre Trägerunterkante über dem Mittelstreifen der Gürtelstrasse mindestens 2,80 *m* liegen müsse, um der Feuerwehr noch freie Bewegung mit ihren Geräten und Spritzen zu sichern und dass für die sämtlichen Strassenkreuzungen eine lichte Durchfahrtshöhe von 4,55 *m* einzuhalten war. Es weist die Kronenlinie der elektrischen Stadtbahn nur dort starke Neigungen auf, wo sie die Staatsbahnen überschreitet und wo sie sich zur Tunnelstrecke am Potsdamer Platz hinabsenkt. An diesen Punkten sind Neigungen von 1 : 40 angewendet. Im übrigen überschreiten die Steigungen der Bahn das Verhältnis von 1 : 100 nicht.

Die Viadukte sind in den Strassen mit alleiniger Ausnahme weniger Pfeiler in Eisen ausgeführt, wie Fig. 105 zeigt. Dort, wo Häuserblocks durchbrochen werden und auf dem Gelände des Dresdener Bahnhofs, sind gewölbte Viadukte vorgesehen. Bei den Strassenkreuzungen musste die Fahrbahn zwischen die Hauptträger gelegt werden, um die Schienen auf den Haltestellen so niedrig wie möglich zu legen. Da an allen Haltestellen naturgemäss sich unmittelbar Strassenkreuzungen anschliessen, ergiebt sich aus der geforderten Lichthöhe von 4,55 *m* und der geringsten Konstruktionshöhe der Fahrbahn bis Schienenoberkante von 0,75 *m* die Höhe der Schienenoberkante in den Haltestellen auf 5,30 *m*. Bei den Strassenkreuzungen müssen zum grössten Teil schiefe Brücken angeordnet werden und kommen aus diesem Grunde fast ausschliesslich Fachwerksträger zur Verwendung, welche auf zwei Stützen frei aufliegen. An diesen Strassenkreuzungen beträgt die Entfernung voneinander je nach der Stützweite und der örtlichen Lage der einzelnen Bauwerke 6—8 *m*. Auf den Überbrückungen, bei welchen nicht 2 *m* von Mitte des nächsten Gleises bis zur Aussenkante der Hauptträger im Querprofil vorhanden sind, werden noch besondere Fussgängersteige für den Verkehr der Wärter angebracht.

Für die Viaduktstrecken, welche auf den Mittelstreifen der Strassen und auf dem Uferstreifen des Kanals liegen, ist für jedes Gleis nur

ein Hauptlängsträger angeordnet, welcher abwechselnd als Krag- und eingehängter Träger ausgebildet ist. Auf den oberen Knotenpunkten dieser Hauptträger ruhen die Querträger der Fahrbahn. Die Stützweiten dieser Strecken sind bei hochliegender Schienenoberkante zu 16,50 *m*, bei niedriger Lage derselben zu 12 *m* gewählt. Die Kragarme bestehen bei den Trägern von 16,50 *m* Stützweite aus zwei Feldern von 1,50 *m*, bei den Trägern von 12 *m* Stützweite nur aus einem solchen Feld. Die günstigste Entfernung der beiden Hauptträger dieser regelmässigen Viadukte ergiebt sich zu 3,50 *m*. Bei dieser Entfernung der Hauptträger und der entsprechenden Lage der Gleise über den ersteren werden die bei den Kosten des Viaduktes sehr ins Gewicht fallenden Querträger am günstigsten beansprucht, also so leicht wie möglich.

Dieser günstigste Abstand der Hauptträger voneinander konnte jedoch nicht überall festgehalten werden, da die Stellung der Stützen vielfach von den im Untergrund liegenden Rohrleitungen abhängt. Es wurde daher nach den örtlichen Verhältnissen der Abstand der Hauptträger voneinander auf 3,50, 4,20 und 5 *m* bestimmt. Die Breite der Fahrbahn zwischen den Geländen beträgt 7 *m*. Die beiden Gleise der Bahn liegen von Mitte zu Mitte 3 *m* voneinander entfernt, sodass bei 2,30 *m* Breite der Betriebsmittel zwischen zwei sich begegnenden Wagen ein freier Raum von 0,70 *m* verbleibt und längs der Geländer ein ebensolcher von 0,85 *m*. Die Bahnsteige der Haltestellen sind ausserhalb der beiden Gleise, welche in der gleichen Entfernung wie auf der freien Strecke durch die Haltestellen durchgeführt sind, angeordnet. Zu den 3 *m* breiten Bahnsteigen führen 2 *m* breite Treppen, welche mit einem gemeinsamen Lauf in Strassenhöhe in einem Vorraum endigen; dort erfolgt die Ausgabe, Entwertung und Abnahme der Fahrkarten. Die Bahnsteige und die dazwischen liegenden Gleise werden mit einer Halle überdacht. Die Länge der Bahnsteige und der Halle ist zunächst auf 45 *m*, d. h. für Züge von drei Wagen, festgesetzt, doch ist das anstossende Trägerfeld derart ausgebildet, dass eine Verlängerung der Halle und der Bahnsteige auf 60 *m*, d. h. fünf Wagenlängen, später auch während des Betriebes ohne Schwierigkeit bewirkt werden kann. Auch in den Haltestellen sind nur zwei Hauptlängsträger angeordnet, und zwar gleichfalls abwechselnd ein Träger mit über die Stütze hinauskragenden Enden und ein zwischen zwei Überkragungen eingehängter Träger. Die Entfernung der Träger voneinander, ebenso wie diejenige der Stützen, beträgt jedoch in den Haltestellen 6 *m*. Die Bahnsteige liegen auf an dem Hauptträger seitlich ausgekragten Konsolen, welch letztere an ihren Enden auch die Stützen und die Binder der Halle tragen.

Für die Wahl des Oberbaues für die elektrische Stadtbahn war die Forderung massgebend, dass ein möglichst geringes Geräusch beim Befahren der eisernen Viadukte entstehe. Es wurde dabei der Grundsatz festgehalten, dass die Fahrbahn aus zwei Teilen hergestellt werde, und zwar aus einem tragenden Teil, welcher aus Querträgern und Schienentrögen besteht und einem schalldämpfenden Teile, welcher aus einer auf stehenden Tonnenblechen ruhenden Kiesfüllung gebildet wird, welche mit einer Asphaltschicht abgedeckt ist, sodass die Fahrbahn begehbar wird und zugleich wasserdicht nach unten abgeschlossen ist. Die Schienentröge werden mit einem Asphaltbeton ausgefüllt, in welchem die breitfüssigen 110 *mm* hohen Schienen bis zum Kopf fest eingebettet sind. Die der Gleismitte zugekehrten Wände dieser Schienentröge sind höher geführt, sodass sie etwaige Entgleisungen der Fahrzeuge verhindern. Die Sicherung der Spur, besonders in Kurven, geschieht mittels stellbarer Stehbolzen zwischen dem Schienensteg in der höheren Wand des Schienentroges. In jeder Haltestelle liegt eine Weichenverbindung, welche bei regelmässigem zweigleisigen Betriebe nur vom Weichendrehpunkt aus befahren wird und welche nur bei etwa infolge Betriebsstörungen eintretendem, streckenweise eingleisigem Betrieb in Thätigkeit tritt. Diese Weichenverbindungen werden nur unter mechanischem Verschluss gehalten. Das Gleisdreieck auf dem Gelände des Dresdener Bahnhofes, sowie die gesamte Weichenanlage auf den Endbahnhöfen Zoologischer Garten, Potsdamer Platz und Warschauer Brücke nebst den dazu gehörigen Fahrzeichen werden auf elektrischem Wege gestellt und gesichert.

Sowohl auf der durchgehenden Linie Zoologischer Garten — Warschauer Brücke, sowie auch auf den beiden Zweigen Zoologischer Garten — Potsdamer Platz und Potsdamer Platz — Warschauer Brücke werden die Züge in beiden Fahrtrichtungen zunächst in Zwischenräumen von sechs Minuten verkehren. Dabei ist der Fahrplan derart eingerichtet, dass auf den Teilstrecken Möckernbrücke — Warschauer Brücke und Zoologischer Garten — Potsdamer Strasse die Züge sich in drei Minuten in jeder Richtung folgen. Bei eintretendem Bedürfnis kann die Zugfolge auf den einzelnen Linien ohne weiteres bis auf vier Minuten verdichtet werden, sodass auf den letztgenannten Teilstrecken eine Zugfolge von zwei Minuten eintritt. Die Züge setzen sich aus einzelnen Motorwagen zusammen. Jeder Wagen hat eine Länge von 12,50 *m* zwischen den Puffern, die Breite der Wagenkasten beträgt 2,30 *m*. Die Wagenkasten ruhen auf zwei zweiachsigen Drehgestellen. Die Wagen wie die Haltestellen werden elektrisch beleuchtet. In den Gleismitten werden besondere Leitungsschienen auf Isolatoren verlegt. Die Fahrschienen dienen ebenfalls zur Fortleitung des Betriebsstromes.

Die Züge sollen mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 28 *km* in der Stunde verkehren, einschliesslich der Aufenthalte auf den Haltestellen, und dürfen eine höchste Geschwindigkeit von 50 *km* in der Stunde erreichen.

Über die Einzelheiten der Bauausführung und der Betriebs-



Fig. 106a.



Fig. 106b.

einrichtungen kann erst nach Inbetriebsetzung der Bahn weiteres mitgeteilt werden.

In den Fig. 106a—h sind einige Ansichten der fertiggestellten Berliner elektrischen Hochbahn dargestellt.

Zur Verbindung der Betriebsgebäude der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft Berlin, zwischen Schiffbauerdamm und



Fig. 106c.



Fig. 106d.

Louisenstrasse, hat diese Gesellschaft eine sich über Dächern auf Hofbrücken und an Häuser-Auslagern hinziehende Hochbahn von 180 *m* Länge gebaut, um die leichte Anpassungsfähigkeit solcher Bahnen an bestehende Verhältnisse zu zeigen. Diese im kleinen Stile zu eigenem Gebrauch errichtete Hochbahn führt aus dem ersten

Stock des einen in den zweiten Stock des anderen Gebäudes. Die grösste Steigung beträgt 1 : 18.

Zum Schluss seien einige Kostenzusammenstellungen projektierter und ausgeführter Tief- und Hochbahnen, teils mit Dampf-, teils mit elektrischem Betriebe, angefügt.

Die Kosten für den Bau der Berliner Dampf-Stadtbahn haben



Fig. 106 e.



Fig. 106 f.

sich, dem Archiv für Eisenbahnwesen zufolge, naeh der im Laufe des Jahres 1892 zu Ende geführten Schlussabrechnung auf 68128699 ℳ 22 ₰ gestellt. Als Hauptausgabeposten ist in dieser Summe der Betrag von rund 33,3 Millionen Mark für Grunderwerb



Fig. 106 g.

enthalten. Für Herstellung der Bahnviadukte mussten 18,6 Millionen, für den Bau der Bahnhöfe 7,9 Millionen aufgewendet werden. 2,4 Millionen Mark erforderte die Beschaffung der Betriebsmittel. Es standen für den Stadtbahnverkehr 87 Lokomotiven im Betrieb, von denen 77 doppelt, 10 dreifach mit Personal besetzt sind. Die

Zahl der vorhandenen Personenwagen betrug 320, davon 59 II. Klasse und 261 III. Klasse. Die Anzahl der für Ausführung des Betriebes u. s. w. erforderlichen Kräfte belief sich im Jahre 1892 auf 361 Beamte, 217 Hilfskräfte und 553 Arbeiter, war also noch geringer als im Jahre 1882, wo die Zahl 1164 erreicht wurde.



Fig. 106b.

Über die Anlagekosten einiger neuerer Hoch- und Untergrundbahnen giebt umstehende Tabelle Auskunft.

Dass sich Gesellschaften zum Bau von Untergrundbahnen nicht leicht finden, ist aus der Spalte 3 dieser Tabelle ohne weiteres erklärlich. Bei den hohen Anlagekosten ist das Wagnis eben sehr gross. So begreift man auch, warum immer wieder Hochbahnentwürfe auftauchen, welche infolge einer besonderen Wagenführung sowie eines möglichst leichten und durchsichtigen, architektonisch ausgebildeten Bahnoberbaues die Hauptmängel der bisher ausgeführten Hochbahnen beseitigen wollen. Es sind dieses die sogenannten Schwebebahnen.

3. Schwebebahnen.

Man unterscheidet hier einschienige und zweischienige Schwebebahnen, je nachdem die Fahrschiene mit der Gleisachse zusammenfällt oder nicht.

In allen verkehrsreichen Grossstädten liegt die Zeit nicht mehr fern, wo die Strasse von den sich mehrenden Verkehrsmitteln entlastet werden muss, oder sie birgt eine Gefahr für das Leben der Einwohner und verhindert die Verkehrsmittel, das zu sein, was sie sein sollen, nämlich eine schnelle Verbindung zwischen zwei Punkten, welche man zu Fuss nur unter grossen Zeitverlusten erreichen kann. Das erste Augenmerk wird auf das billigste System der Hochbahnen, auf die Schwebebahnen, fallen. Diese sind imstande, sich den Ver-

Bahn	Länge der Bahn km	Anlagekosten für 1 km Bahnlänge ℳ	Bemerkung	Quelle der Kostenangabe
New-York, Hochbahn, 185 Street — Kingsbridge . .	Entwurf 3,678	1 561 730	zweigleisig, elektrisch	Railroad Gazette 1895, S. 2.
New-York, Untergrundbahn Broadway — Boulevard .	Entwurf 10,21	12 250 000	viergleisig, elektrisch	
New-York, Untergrundbahn University Place — Church Street	Entwurf 3,575	7 382 000	zweigleisig, elektrisch	
London, Untergrundbahn »District and Metropolitan«	140,8	7 965 000	zweigleisig, Dampflokomotiven	Z. d. V. d. Ing. 1891, S. 1075
London, Untergrundbahn »City and South London«	5,07	3 329 000	zweigleisig, elektr. Lokomotiven	Z. d. V. d. Ing. 1892, S. 98
Liverpool, Hochbahn »Overhead Railway«	8,05	1 100 000	zweigleisig, Motorwagen	Engineering 1894, I, S. 334
Budapest, Unterpflasterbahn Gisela - Platz — Stadtwäldchen	3,8	1 700 000	zweigleisig, Motorwagen	Siemens & Halske
Wien, Untergrundbahn Rennweglinie	Entwurf 4,0	2 295 000	zweigleisig, elektrisch	Organ f. d. F. d. E. 1892, S. 65
Paris, Untergrundbahn (Entwurf von Berlier) . . .	Entwurf 11,23	2 920 000	zweigleisig, elektrisch	Organ f. d F. d. E. 1892, S. 207
Berlin, Unterpflasterbahn (Allgemeine Elektr.-Ges.) .	Entwurf	1 700 000	zweigleisig, elektr. Lokomotiven	Z. d. V. d. Ing. 1892, S. 315
Berlin, Stadtbahn (zum Vergleich)	12,15	4 984 600	viergleisig, Dampflokomotiven	Z. d. V. d. Ing. 1891, S. 1075

hältnissen in starkbelebten Strassenzügen am besten anzupassen, da sie gleichsam den Omnibus oder den Pferdebahnwagen nur einige Meter vom Erdboden heben. Es wäre verfehlt, für diese Schwebebahnen etwa eine Trace zu wählen, welche nur die Verkehrsschwerpunkte verbindet. Diesen Weg sollte man den Viaduktbahnen und den Tiefbahnen überlassen. Für Schwebebahnen und für Unterpflasterbahnen, wenn die letzteren überhaupt auszuführen möglich sind, geziemt es, direkt in der Verkehrsader zu bleiben. Man denke sich hierzu eine durch Fuhrwerk sehr belebte Grossstadtstrasse zunächst dadurch entlastet, dass sämtliche Pferdebahnen und Omnibusse durch die Schwebebahn ersetzt werden. Der hierdurch gewonnene Raum wird benutzt, um in der Mitte des Fahrdammes Säulen aufzustellen, an denen der Längsträger mit den Laufschienen befestigt ist. Die längs der Strasse aufgestellten Säulen werden für alle Fuhrwerke eine rechte und linke Fahrstrasse markieren und darum dem Verkehr in keiner Weise hinderlich sein. Der Personen-Auf- und Abstieg erfolgt an jeder so und so vielten Säule mittels Treppen, deren Hauptrichtung die Säulenreihe bildet. Dadurch, dass die Schwebebahn nur die Ersteigung einer geringsten Höhe bis zum Wagenfussboden ermöglicht, sind die Zugänge leicht und einfach durchführbar. Sind die Strassen zu eng, um in der Mitte eine Säulenreihe zu gestatten, dann sind die über den ganzen Fahrdamm gespannten Eisenbogen gut angebracht. Zugleich wird man die Bogen als Treppenträger benutzen und dadurch einen für den Fahrgast vollkommen ungefährlichen Zugang zum Wagen erreichen, was man von dem Zugang zum heutigen Strassenbahnwagen, über die belebte Strasse hinweg, nicht gerade behaupten kann.

Es müssen für diese Strassenschwebebahn alle diejenigen Verhältnisse massgebend bleiben, welche sich bei den Strassen-Verkehrsmitteln als zweckmässig herausgestellt haben und hierzu gehört die Häufigkeit und Bequemlichkeit der Haltestellen und die dichte Wagenfolge. Die Schwebebahn wird sicherlich ihren Beruf verfehlen, wenn man ihr den Verkehr zwischen den entfernt liegenden Kreuzungspunkten grosser Verkehrsadern zumutet, weil man dann nicht mehr mit einzelnen Wagen auskommt, sondern zu Zügen greifen muss und weil demgemäss die Trägerkonstruktionen unnötig schwer ausfallen müssen. Die Ersparnis der Personalkosten bei Zügen wird mehrfach aufgehoben durch den leichteren Bau und die häufigere Fahrgelegenheit.

a) Einschienige Schwebebahnen.

Dieselben haben ihre Vorläufer in den Seilbahnen für Fördergut. Wohl eine der ersten elektrisch betriebenen, allerdings nur für

Güter benutzten Schwebebahnen ist die Telpher-Linie in Glynde von etwa 1,5 *km* Länge. In seinem Buche: »Elektrische Kraftübertragung« berichtet Gisbert Kapp über diese Bahn. Mehrere Förderschalen sind zu einem Zuge vereinigt. Der mittelste Förderkorb erhält elektromotorische Einrichtung zum Bewegen (Ziehen und Stossen der Wagen) des Zuges. Sämtliche Wagen laufen auf einem ruhenden Seile, welches zugleich als Stromleiter dient. Dieses Seil ist elektrisch in Abschnitte von solcher Länge zerlegt, dass z. B. die ersten Wagen des Zuges den positiven, die letzten den negativen Pol des Betriebsstromes abnehmen können und dem Motorwagen zuführen.

Die Consolidated Telpherage Company in New-York hat das Telpher-System bis heutigen Tages weiter ausgebildet und bringt

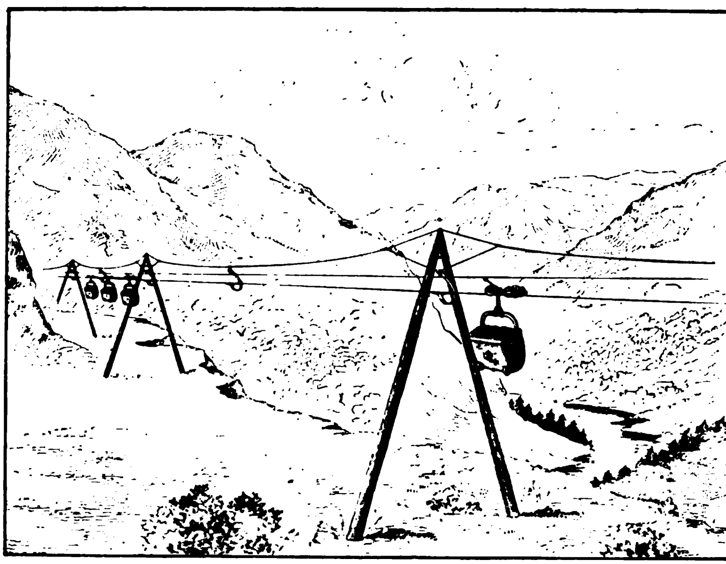


Fig. 107.

es als Transportbahn überall in Vorschlag, wo es sich darum handelt, leichte Lasten schnell zu befördern und wo man einen geraden bequemen Weg durch den Luftraum schaffen kann. In Fig. 107 ist die Installation einer automatischen Telpherbahn in gebirgigem Terrain dargestellt. Über dem einschienigen Lauf- und Tragseil befindet sich der Fahrdraht, von welchem der Betriebsstrom durch Rolle oder Bügel dem zweirädrigen, aber einschienigen Gefährt zugeführt wird. Das Tragseil ist ebenfalls zur Leitung des Betriebsstromes ausgenutzt. Fig. 108 zeigt die Anwendung des Systems auf selbstbeweglichen

Betrieb. Ähnlich diesem System sind die später beschriebenem ausgeführt.

Für Dampflokomotiv- und Seilbetrieb sind schon seit ungefähr 30 Jahren Projekte und Versuchs-Ausführungen behandelt worden, ohne indess für Personenverkehr zur Geltung zu kommen. (Vergl. Brückmann, Z. d. V. d. Ing. 1895, Heft 49, Seite 1453 ff.)

Im Juli 1889 fanden in der Nähe von St. Paul, Nordamerika, auf einer aus Holz erbauten Probestrecke einer elektrischen Schwebebahn so zufriedenstellende Versuchsfahrten statt, dass dem Erfinder dieser Bahn, Enos, bald darauf die behördliche Zustimmung erteilt wurde, die Städte St. Paul und Minneapolis, Minn., durch eine annähernd 43 *km* lange Hochbahn seiner Bauart zu verbinden.

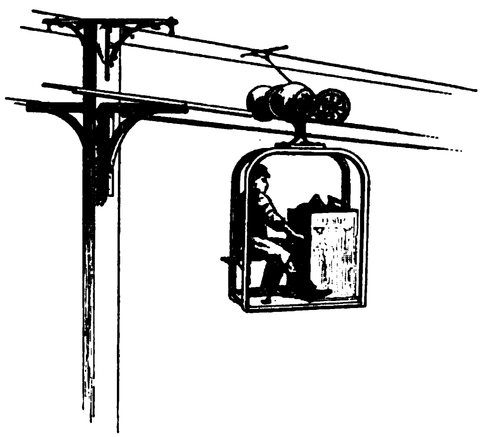


Fig. 108.

Die Bauweise von Enos ist in Fig. 109a und b dargestellt. Die tragenden Säulen ruhen auf Granitsockeln, welche mittels vier starker Anker an schweren gusseisernen Querschwellen befestigt und ihrerseits wieder mit einem starken Betonblock verbunden sind. Die Höhe der Säulen ist so bemessen, dass die Unterkante der aufgehängten Wagen sich 4,27 *m* über dem Strassenpflaster befindet. Am oberen Ende tragen die Säulen nach beiden Seiten vorstehende konsolartige Gerüste, welche an den Enden durch eiserne Längsgitterträger miteinander verbunden sind. Diese Längsbalken tragen oben und unten Fahrschienen, von denen die obere die Last des Wagens aufnimmt, während die untere zur Verhinderung von Seitenschwankungen der Fahrzeuge dient. Vier auf dem Dache der letzteren unter 45° befestigte Führungsrollen legen sich gegen diese Schienen. Die Wagen hängen mittels zweier Bügel an den Achslagern der zwei oberen Treibräder; an den Bügeln sind beiderseitig elektrische Motoren von Thomson-Houston angebracht, welche unmittelbar auf die Radachsen wirken.

Der Strom wird durch die obere Laufschiene und durch die untere Führungsschiene geleitet.

Bei Thalfahrt wird mittels Handbremse, oder auch indem man den Strom auf Bergfahrt schaltet, gebremst.

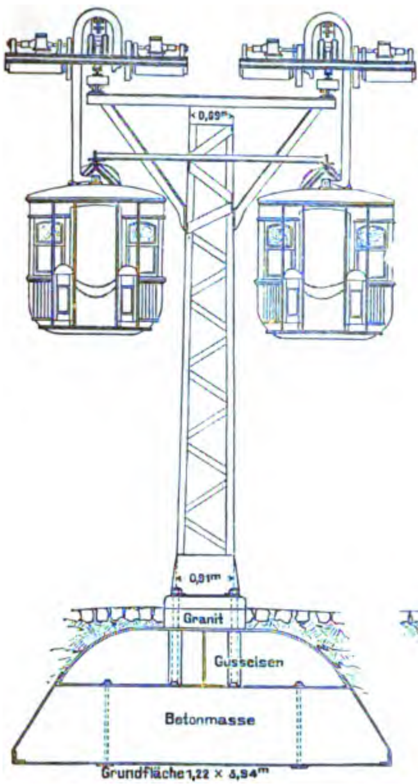


Fig. 109 a.

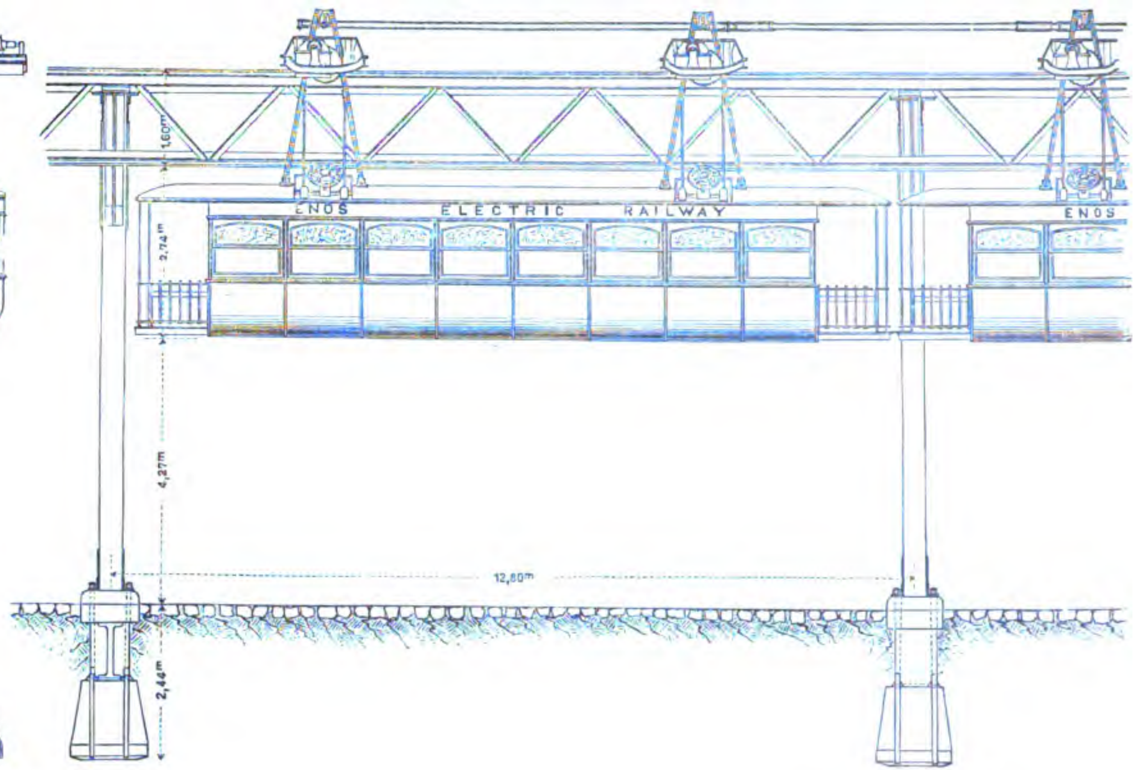


Fig. 109 b.

Licht und Luft werden durch die Enos'schen Bahnen gewiss nicht abgehalten, auch vermindert das geringe Platzbedürfnis die Grunderwerbskosten bedeutend. Dabei ist wohl zu bemerken, dass auch für eine zweigleisige Bahn nur eine Säulenreihe erforderlich ist.

Vor wenigen Jahren hat sich Eugen Langen wieder erfolgreich mit den verschiedensten elektrischen Schwebebahn-Entwürfen befasst. Sein System der einschienigen Schwebebahnen ist durch die schematische Darstellung in Fig. 110ä und b gekennzeichnet. Der Wagen kann um die Oberkante der Laufschiene seitlich bis zu einem Aus-

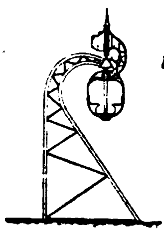


Fig. 110a.

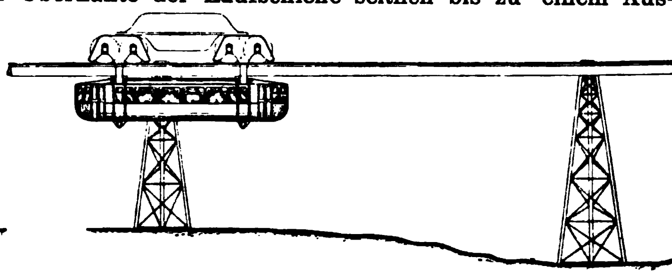


Fig. 110b.

schlag von etwa 40° frei pendeln. Die Gegenrollen, welche sich gegen die cylindrische Unterfläche des Schienenträgers legen, sobald die Laufräder sich von der Schiene abheben wollen, machen eine Entgleisung unmöglich. Unter dem Einfluss von Gewicht und Centrifugalkraft stellt sich der Wagen selbstthätig in die Richtung der Kraftresultante ein. Schwankungen infolge seitlichen Winddruckes sollen durch einen über den Laufrädern liegenden Windschirm verhindert werden, dadurch, dass beide Flächen gleichen Druck erhalten. Die Bandagen der Laufräder erhalten infolge der Centrifugalkraft eine bedeutende Beanspruchung auf Zerreissen, der Luftwiderstand ist enorm und infolgedessen auch der Arbeitsverbrauch zur Erzielung der hohen aber technisch möglichen Geschwindigkeit von 300 *km*/Stunde. Etwas anderes ist allerdings die Frage nach der Geschwindigkeitsgrenze, welche aus wirtschaftlichen Gründen nicht überschritten werden darf, damit die Betriebskosten noch von den Betriebseinnahmen gedeckt werden.

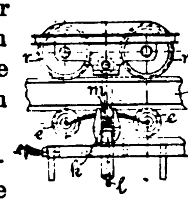


Fig. 111.

Zur Sicherung gegen Entgleisen und Schwankungen wendete Langen ebenso wie Enos besondere Gegendruckrollen an, welche von unten gegen die Laufschiene drücken. In Fig. 111 wird der von den Rädern r freischwebend getragene Wagen durch die Gegenrollen e vor Schwankungen geschützt. Mit e wird auch die Bremsbacke m von der starken Feder k gegen f gepresst, sobald die mit der Zugstange in Verbindung stehende Stange l gelockert ist.

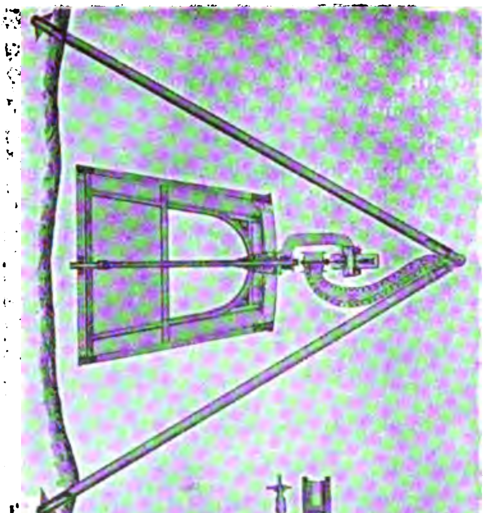


Fig. 112a.

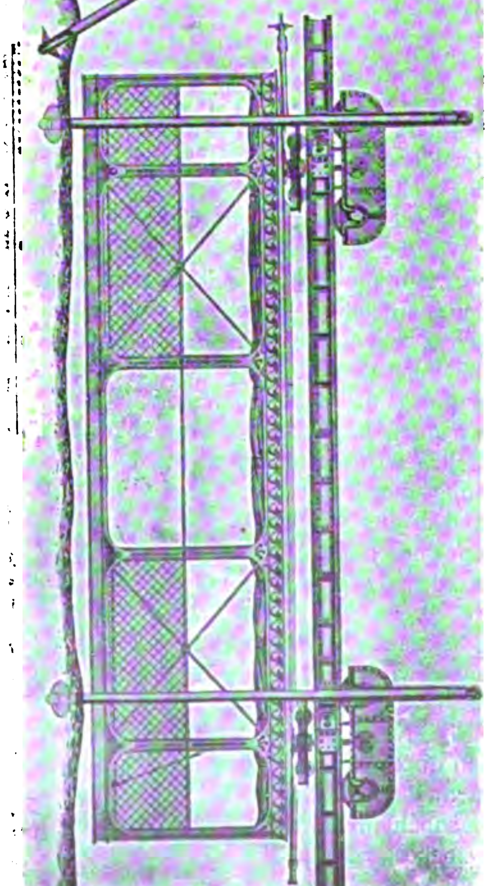


Fig. 112b.

Da Geheimrat Langen der Schwiegervater des deutschen Reichskommissars Major Wissmann war, kann es nicht befremden, wenn er seine Schwebebahnsysteme auch dem tropischen Klima und den unkultivierten Gegenden anzupassen versuchte. Diesem Bestreben verdanken wir die im Nachfolgenden beschriebene Tropenbahn, welche durch die Kontinentale Gesellschaft für elektrische Unternehmungen in Nürnberg in Wort, Schrift und Bildern bekannt gegeben wird.

Der Schienenweg besteht hier aus einem I-förmigen Träger, welcher oben und unten mit einem Schienenkopf für die Räder versehen ist. Der Träger kann entweder aus einem einzigen Walzeisen gebildet oder auch aus mehreren Walzprofilen zusammengenietet werden. Die normale Unterstützung dieses Trägers ist auf Fig. 112a und b näher dargestellt. Zwei eiserne Röhren, an deren Stelle auch Rundhölzer verwendet werden können, endigen oben in einer gemeinsamen Kugel,

auf welcher gelenkartig ein Bügel am Eisenblech lagert, der die Schiene trägt. Diese gelenkartige Verbindung zwischen den Stützen und dem Schienenträger bewirkt, dass einerseits die Stützen, mögen sie nun steiler oder flacher stehen, stets centrisch belastet werden und deshalb sehr leicht gehalten werden können, und dass anderseits die Schiene der durch Temperaturwechsel bedingten Ausdehnung Folge geben kann. Etwa alle 200 *m* werden zwei benachbarte Stützenpaare durch schräg stehende Streben miteinander verbunden und dadurch feste Punkte gebildet, welche die ganze Bahn stabil machen und den Längsschub aufnehmen. Von diesen festen Punkten aus können sich die Schienenträger nach beiden Seiten hin frei ausdehnen, und in der Mitte zwischen je zwei festen Punkten ist eine blattstossartige Vorrichtung vorgesehen, welche eine gegenseitige Verschiebung der beiden Trägerenden gegeneinander gestattet, ohne dass dadurch eine Lücke in der Unterstützung der Laufräder eintritt. Am anderen Ende endigen die eisernen Röhren gleichfalls kugelartig und stehen in gepressten Eisenblechen, welche in den Erdboden eingegraben werden. Eine Untermauerung dieser Blechteller ist nicht erforderlich. Sie brauchen höchstens etwas unterstopft zu werden, da durch ein etwa nachträglich eintretendes Senken einer der Stützen die Betriebssicherheit der Bahn in keiner Weise gefährdet wird.


Fig. 113.

Bei sehr schlechtem, sumpfigen Baugrunde genügt es, zur Verbreiterung des Fundamentes Steine einzustampfen und hierauf die Blechteller zu legen. Es empfiehlt sich jedoch hierbei, die Stützenfüsse mittels Zuganker miteinander zu verbinden, um ein seitliches Ausweichen zu verhindern. An steilen Abhängen wird die Bahn durch kranartige Stützen getragen und in Tunnels nach Fig. 113 aufgehängt.

Die Revision der Bahn bezw. des Schienenträgers wird im allgemeinen vom Wagen bezw. von der Maschine aus bewirkt werden, wo zu diesem Zweck ein besonderer Revisionssitz angebracht wird. Es können jedoch an Abhängen und in Tunnels auch noch neben der Schiene Revisionsstege angeordnet werden, sodass nötigenfalls von hier aus die Revision ausgeübt, sowie kleinere Reparaturarbeit vorgenommen werden kann.

Erdarbeiten werden bei diesen Bahnarten ganz vermieden, auch für Wasserdurchlässe und kleinere Brücken sind keine besonderen Konstruktionen nötig. Bei grösseren Flüssen lassen sich durch einfache Hängewerke ausserordentlich leichte Brückenkonstruktionen herstellen.

Die Weichenanordnungen werden bei diesen Bahnen höchst einfach. Fig. 114a und b stellt eine solche Weichenanlage schematisch dar.

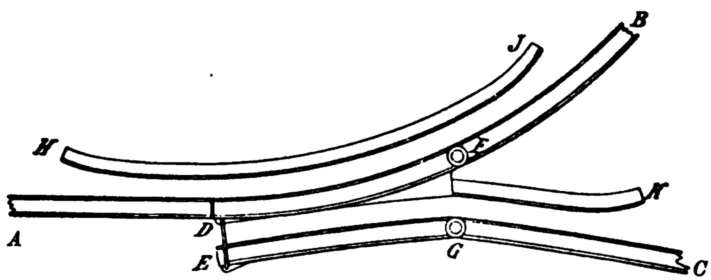


Fig. 114a

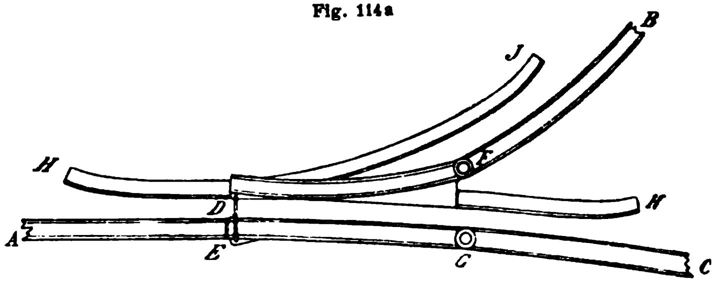


Fig. 114b.

Von den beiden voneinander abzweigenden Gleisen AB und AC sind die Gleisstücke AD, FB und GC festgelagert. Zwischen diesen Stücken bewegen sich die miteinander verbundenen Weichenzungen GE und FD drehbar um die Drehpunkte G und F. In der Weichenstellung der ersten Figur ist das Gleis AB befahrbar und die Schiene durch keinerlei Lücken unterbrochen. Zur grösseren Sicherheit wird durch HI dem Wagen eine feste Zwangsführung gegeben, wodurch bewirkt werden kann, dass bei falscher Stellung der Weiche der

Wagen die Weiche selbstthätig auffährt und selbst bei zerbrochenen Weichenzungen der Wagen nicht zum Sturze kommen kann. Bei der Stellung der Weiche, welche in der zweiten Abbildung dargestellt ist, ist das Gleis AC gleichfalls ohne Unterbrechung befahrbar, und auch hier findet der Wagen-Hängebügel in dem Schlitz zwischen der Fahrschiene AC und der Zwangsschiene HK eine sichere Zwangsführung. Die Verbindung DE zwischen den beiden Weichenzungen muss natürlich eine solche Form haben, dass die Radgestelle ungehindert darunter hindurchfahren können.

Die Wagen hängen an den Schienenträgern freischwebend, sodass sie bei Einwirkung einer stärkeren Seitenkraft, besonders der Fliehkraft in den Krümmungen, genügend nachgeben können. Sie schwingen hierbei in vollkommen stossfreier Weise aus und nehmen ihre ursprüngliche Lage, im Gegensatz zu von unten gestützten Gegenständen, ohne besondere Vorkehrung allein vermöge der Schwerkraft gleichfalls in stossfreier Weise wieder ein. Durch Bewegung im Innern der Wagen oder durch mässigen Wind werden sie, wie durch vielfache Versuche festgestellt ist, in keine starken, unangenehm wirkenden Schwankungen versetzt. Sollten einmal durch besonders ungünstig wirkende Windstösse oder andere unvorhergesehene Umstände zu starke Schwankungen eintreten, so können diese vom Wagenschaffner ohne weiteres dadurch gehemmt und beseitigt werden, dass die unterhalb der Schienen liegenden Gegenrollen von unten an die Schienen gepresst werden. Die federnden Gegenrollen hemmen die Schwankung sofort und zwar in sehr sanfter Weise.

Die Bremsen sind unabhängig von dem Gewichte der Wagen, weil sie die Schiene von oben und unten fassen und zusammenpressen. Es kann ihnen deshalb beliebig starke Wirkung gegeben werden. Bei den Bergbahnwagen sind ausser den Handbremsen noch selbstthätig wirkende Bremsen vorgesehen, welche sofort in Thätigkeit treten, sowie die Verbindung zwischen Lokomotive und Wagen reisst oder gelöst wird. Ein Entgleisen der Wagen wird durch die unterhalb der Schienen befindlichen Gegenrollen unmöglich gemacht. Ausserdem werden aber auch die Schienenträger von festen Teilen des Wagens von drei Seiten derartig umfasst, dass selbst beim Bruch der Laufräder oder der Gegenrollen ohne weitgehende Zerstörung der Bahn oder der Wagen ein Loslösen und Herunterstürzen der letzteren unmöglich ist.

Ein Bruch des Schienenträgers selbst ist aber nicht zu befürchten, da derselbe infolge der günstigen Konstruktion stets nur gering beansprucht wird und selbst bei starken Seitenkräften keine übermässigen Nebenspannungen erhalten kann.

Die Lokomotiven können zwar beliebige Betriebsart erhalten, erwünscht ist jedoch, möglichst leichte Lokomotiven zu bauen, da dies für die Gesamtkosten der Bahnanlage von wesentlicher Bedeutung ist. Das System hat den grossen Vorteil, dass die Adhäsionskraft ganz unabhängig von dem Lokomotivgewichte ist, weil auch unterhalb der Schienen Antriebräder angebracht sind, welche, je nach der erforderlichen Zugkraft, selbstthätig von unten nach oben drücken.

Ein weiterer Vorzug der Schwebebahn ist der, dass sehr enge Krümmungen bis zu 8 *m* Halbmesser herab durchfahren werden können und zwar mit verhältnismässig grosser Geschwindigkeit. Während bei der Erdbahn (Standbahn) den Wirkungen der Fliehkraft durch Überhöhung der einen Schiene nur unvollkommen entgegengearbeitet werden kann, weil eine solche Schienenüberhöhung immer nur für eine bestimmte Fahrgeschwindigkeit richtig ist, bewirkt bei der Schwebebahn die schwebende Aufhängung, dass der Wagen beim Durchfahren von Krümmungen sich selbstthätig in die jeweilige Kraftrichtung einstellt, welche sich aus Gewicht und Fliehkraft ergiebt. Mit Rücksicht auf die Gefahr der Entgleisung beträgt für eine Standbahn von 75 *cm* Spurweite die höchste zulässige Fahrgeschwindigkeit in Krümmungen von 100 *m* Halbmesser nur 25 *km* und in Krümmungen von 50 *m* gar nur 18 *km* in der Stunde. Bei Schwebebahnen kann man in den Krümmungen eine ganz erheblich grössere Geschwindigkeit einführen. Würde man hier in den gleichen Krümmungen mit der doppelten Fahrgeschwindigkeit fahren, wie bei Standbahnen überhaupt zulässig erscheint, also mit 50 *km* in Krümmungen von 100 *m* und mit 36 *km* in Krümmungen von 50 *m* Halbmesser, so würde die Ausschwingung der Wagen aus der Senkrechten nur 12° betragen. Auf den mit Schwebebahnwagen befahrenen Versuchsstrecken ist aber festgestellt, dass selbst bei einer Schiefstellung der Wagen bis zu 25° die Bahn mit grosser Sicherheit durchfahren werden kann und dass dabei im Wagen freistehende Personen keinerlei Unannehmlichkeiten empfinden.

Die Herstellungskosten beschriebener Tropenbahnen werden sich in sehr vielen Fällen erheblich niedriger stellen als diejenigen einer gleich leistungsfähigen Standbahn, nicht nur dann, wenn bei solchen wegen zu grosser Steigung Zahnstangen verwendet werden müssen, sondern auch überall da, wo schwierige Erdarbeiten auszuführen sind und wo viele kleinere Brücken und Durchlässe erforderlich werden, welche Standbahnen sehr verteuern, dagegen Schwebebahnen keine Schwierigkeiten bereiten. Da Erd- und Kiesarbeiten bei Schwebebahnen nur in geringem Masse erforderlich sind, so richten sich die Herstellungskosten fast ausschliesslich nach den

Eisenpreisen. Verwendet man eiserne Rohre für die Stützen, sodass also die ganze Bahnkonstruktion aus Eisen besteht, so sind bei einer Bahn für 2 *t* Wagen für 1 *m* Bahnlänge 70 *kg* und für eine Bahn mit 4 *t* Wagen 120 *kg* Eisen erforderlich. Die Träger von immer gleicher Länge bestehen aus einem Walzprofil, welches nur an den Enden für Stoss- und Gelenkverbindungen bearbeitet zu werden braucht. Für die Stützen braucht man nur Rohre von drei bis vier verschiedenen Längen, und die Kopf- und Fussstücke der Stützen, sowie die Fussplatten und die Hängebügel sind stets einander gleich, sodass man nur sehr wenig verschiedene Stücke herzustellen braucht. Die Herstellung muss deshalb einfach und billig werden, und da die Teile nicht nur für eine bestimmte Anlage, sondern auch für andere Schwebebahn-Ausführungen Verwendung finden können, können dieselben sogar auf Vorrat gearbeitet werden.

Bei kleineren Ausführungen wird sich zwar, da es sich um neue Formen handelt, der Einheitspreis verhältnismässig hoch stellen, bei Ausführungen im grossen aber wird sich die Bahn nach der Kalkulation der Fabrik zu einem Einheitspreise von 200—250 ℳ für 1 *t* Eisen herstellen lassen. Es würde dann das gesamte Baumaterial für 1 *km* Bahnlänge bei Bahnen für 2 *t* Wagen 14000 bis 18000 ℳ und bei Bahnen für 4 *t* Wagen 24000—30000 ℳ kosten. Für Fracht, Montage und Anstrich kann man 4000—6000 ℳ für 1 *km* in Anrechnung bringen. Die Kosten für die Einrichtung des elektrischen Betriebes einschliesslich der Betriebsmittel sind abhängig von dem Verkehr und der Leistungsfähigkeit der Bahn und sind z. B. für die Centralbahn in Ostafrika bei 2 *t* Wagen auf 4000 bis 6000 ℳ und bei 4 *t* Wagen auf 8000—11000 ℳ für 1 *km* Bahn berechnet.

Die Gesamtherstellungskosten der Bahn einschliesslich der Einrichtung des elektrischen Betriebes und einschliesslich der Betriebsmittel würden hiernach bei grossen Ausführungen und bei zutreffender Schätzung der Eisenpreise für 2 *t* Wagen 25000—30000 ℳ und bei 4 *t* Wagen 45000—50000 ℳ für 1 *km* Bahnlänge betragen.

Vergleicht man hiermit die Herstellungskosten von Standbahnen, so wird es zwar Bahnen geben, die ebenso billig oder womöglich noch billiger hergestellt werden, in den meisten Fällen wird man aber wesentlich höhere Beträge ermitteln. Nach der Statistik des Reichs-Eisenbahnamtes betragen die durchschnittlichen Kosten von Schmalspurbahnen 78000 ℳ für 1 *km*. Es sind dieses Anlagen für Dampfbetrieb; wollte man elektrischen Betrieb auf diesen Bahnen einrichten, würden sich die Kosten erfahrungsgemäss auf etwa 100000 ℳ erhöhen.

Noch viel höher werden bei Standbahnen die Herstellungskosten, falls die Steigungen so gross sind, dass Zahnstangen eingelegt werden müssen. Nach Walloth (Zahnradbahnen der Schweiz) betragen die Anlagekosten für Zahnradbahnen 200000—700000 ℳ für 1 *km*. Bei Schwebebahnen sind Bergbahnen nur verhältnismässig wenig teurer als Bahnen in der Ebene.

Im allgemeinen ergiebt sich aus den vorstehenden Darlegungen, dass nicht nur bei Bergbahnen, sondern auch in sehr vielen Fällen bei Bahnen in der Ebene und im Hügelland die Schwebebahnen geringere Kosten verursachen würden, als Standbahnen gleicher Leistungsfähigkeit.

Ein bemerkenswertes Projekt, welches behufs Erzielung einer sehr hohen Geschwindigkeit im Eisenbahnverkehr aufgestellt wurde, ist das von F. B. Behr in Verbindung mit Lartigue und L. Finet.

Dasselbe ist in seinen Einzelheiten ausgearbeitet worden und wird als »lightning express railway service« bezeichnet, weil es Geschwindigkeiten von 190 bis nicht weniger als 240 *km* in der Stunde vorsieht. Aus seinen vorgängigen Berechnungen schliesst Behr, dass man nicht daran denken könne, auf bestehenden Linien grössere absolute Geschwindigkeiten als 130 *km* in der Stunde oder eine mittlere Geschwindigkeit von etwa 90 *km* zu erreichen und dass es, um mit Geschwindigkeiten von 190—240 *km* in der Stunde auf Linien des gewöhnlichen Typus zu fahren, erforderlich sein würde, neue Linien von besonderem Charakter und mit besonderem rollenden Material zu bauen, die jedoch Ausgaben erfordern würden, welche mit der Grenze der Betriebsausnutzung dieser Linien in keinem Verhältnis stehen und auch dann noch Elemente grosser Unsicherheit darbieten würden. Als Typus einer Bahnanlage, welche für sehr hohe Geschwindigkeiten geeignet und zu gleicher Zeit hinreichend billig herzustellen ist, um praktisch ausgeführt werden zu können, weist der Verfasser auf das von Lartigue erfundene elektrisch betriebene Einzelschienensystem hin. Das Lartigue'sche System, aber mit Dampf betrieben, ist schon seit einigen Jahren auf einer 15 *km* langen Linie von Listowel nach Ballybunion in Irland im Betriebe und eine ähnliche Linie von Fleurs nach Panissières im Departement Loire in Frankreich wird demnächst dem Verkehr übergeben werden. Das Lartigue'sche Einzelschienensystem besteht im wesentlichen aus einem Tragbalken, welcher eine doppelköpfige Schiene trägt und auf stählernen Böcken ruht, die mit einer Grundschwelle verbunden sind. 70 *cm* unterhalb der Oberkante der Schiene sind die Böcke durch Querarme versteift, welche auf jeder Seite eine stählerne Führungsschiene tragen. Diese Führungsschiene hat den Zweck, das Gleichgewicht des Wagens zu sichern, welcher auf eine

Längsmittelplatte gesetzt ist und auf einer einzigen Reihe von Rädern über die Achse des keilförmigen Gerüstes läuft. Der Bahnoberbau hat daher einen kontinuierlichen dreieckigen Querschnitt und ist in der Länge und Quere nach an den Böcken durch Balken versteift. Besondere Konstruktionen sind beim Übergange über Strassen, Flüsse und Schluchten sowie bei Kurven vorgesehen.

Jeder Wagen würde mit mehreren Elektromotoren ausgerüstet werden, sodass er von einer elektrischen Lokomotive unabhängig ist. Die Haupteigentümlichkeit des Wagens ist ein Gestell, welches auf mehreren Rädern ruht, die an derselben Längsachse angebracht sind. Zu beiden Seiten dieses Gestelles sind die Abteile angebracht, welche über den mittleren keilförmigen Teil hinweg mittels an jedem Ende befindlicher Stiegen miteinander in Verbindung stehen. Haben die Räder einen Durchmesser von 1,4 *m* und sind dieselben paarweise am Untergestell angebracht, so ist die Zahl der Umdrehungen, welche zur Erreichung einer Geschwindigkeit von 250 *km* pro Stunde erforderlich ist, 720 pro Minute. Diese Geschwindigkeit gestattet, die Elektromotoren direkt mit jeder der Triebachsen zu kuppeln. Der Strom wird mittels eines Armes abgenommen, der an dem Wagen befestigt ist und in einen Kanal hineinragt, welcher einen blanken Leiter enthält, der durch den Stromabnehmer in die Höhe gehoben wird. Dieser Eisenbahnexpressdienst soll zunächst die bestehenden Eisenbahnen unterstützen und die Anlagen sollen längs der letzteren hergerichtet werden und würden ausschliesslich für den Personenverkehr bestimmt sein. Im Nachfolgenden sind einige Beispiele der Entfernungen und der erforderlichen Fahrzeiten bei Geschwindigkeiten von 190 und 240 *km* pro Stunde zwischen einigen Hauptorten der Erde gegeben:

	km	Fahrzeit bei 190 *km* Geschwindigkeit	Fahrzeit bei 240 *km* Geschwindigkeit
Von London nach			
Brighton	80	0h 25′	0h 20′
Liverpool	323	1h 41′	1h 21′
Edinburgh	640	3h 20′	2h 40′
Von Berlin nach			
Hamburg	283	1h 29′	1h 10′
Köln	576	3h 0′	2h 24′
München	648	3h 23′	2h 42′
Von Paris nach			
Rouen	134	0h 42′	0h 34′
Marseille	856	4h 28′	3h 34′
Calais	296	1h 32′	2h 14′
Von New-York nach			
Chicago	1458	7h 33′	6h 7′

Dieses Projekt für einen Eisenbahnschnellverkehr nimmt sich allerdings auf dem Papier recht imposant aus, aber obwohl es als

praktisch und ökonomisch hingestellt wird, eilt es doch der Zeit zu weit voraus, und die Ausführung desselben darf man getrost der Zukunft überlassen. (Näheres in der Z. d. V. d. Ing. 1900, Heft 4, Seite 131.) Neuerdings soll die Bahn Liverpool — Manchester nach diesem System bewilligt worden sein.

Über das Stadium der zeichnerischen Entwürfe und der Probe-Ausführungen sind die wenigsten Schwebebahnen gelangt. Allen Konstruktionen lag die einschienige Bahn zu Grunde. Es entwickelte sich aber stets aus diesem Grundsatz die mehrschienige, da neben der Tragschiene die verschiedenen Zwangs- und Führungsschienen vorgesehen werden mussten. (Enos, Perlay, Hale, Cook, Dietrich, Beyer, Meigs, Lartigue, Behr.) Nur die Langen'schen Konstruktionen verfolgten die freie Ausschwingung der Hängewagen.

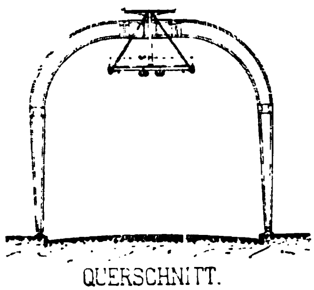


Fig. 115.

Die erste, im grösseren Stile erbaute und einem starken Verkehr angepasste einschienige Schwebebahn ist die im Jahre 1901 eröffnete Barmen - Elberfelder Schwebebahn. (Vergl. Z. d. V. d. Ing. 1900, Heft 41.)

In den Figuren 115 und 116 sind die bei dieser Schwebebahn angewandten Trägerkonstruktionen schematisch angedeutet. Diese

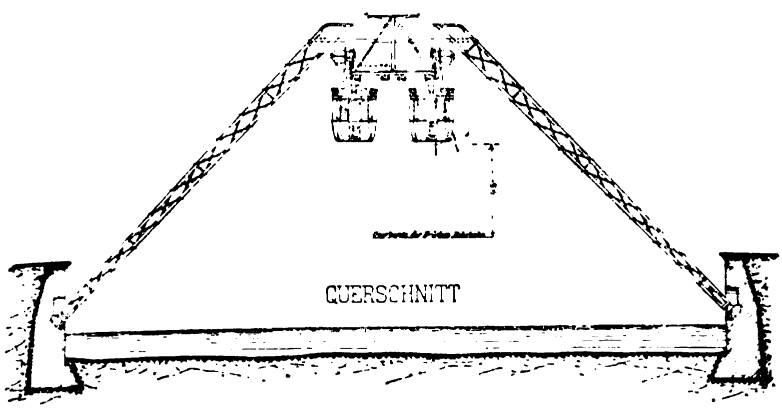


Fig. 116.

Bahn, welche anfangs als zweischienige geplant war, wurde doch nur als einschienige ausgeführt. Teils führt die Bahn über Strassen hinweg (Fig. 115), teils ist sie über dem Bett der Wupper (Fig. 116) errichtet.

Die ganze Bahn ist 13,3 *km* lang, davon befinden sich 10,3 *km* über der 25—30 *m* breiten Wupper und 3 *km* über städtischen Strassen.

Die gesamte Anlage ist von der Kontinentalen Gesellschaft für elektrische Unternehmungen in Nürnberg in Generalunternehmung an die Elektrizitäts-Aktien-Gesellschaft vorm. Schuckert & Co. in Nürnberg übergeben, von der wiederum die Lieferung der Wagen an die Eisenbahn-Waggonfabrik van der Zypen & Charlier, Köln-Deutz und der gesamte Bahnbau an die Maschinenbau-Aktien-Gesellschaft Nürnberg, jetzt Vereinigte Maschinenfabriken Augsburg und Maschinenbaugesellschaft Nürnberg, vergeben worden ist.

Für die Elberfelder Hochbahn sind Führerwagen und Anhängewagen vorgesehen, welche sich allerdings nur dadurch unterscheiden, dass in dem Führerwagen am vorderen Wagenende ein Führerstand mit elektrischem Regulator und Hauptausschalter angebracht ist, während im Anhängewagen der gleiche Raum für vier Stehplätze ausgenutzt ist. Beide Wagen sind in gleicher Weise mit Motoren und Bremsen ausgestattet, sodass beliebig lange Züge verwendet werden könnten, ohne dass dadurch die Fahrgeschwindigkeit oder die Schnelligkeit des Anhaltens und Anfahrens eine Einbusse erleidet. Auf der Elberfelder Bahn sollen zunächst Züge von zwei Wagen fahren, jedoch ist die Anlage so vorgesehen, dass die Haltestellen leicht für Zuglängen von vier Wagen erweitert werden können.

Die Wagen haben 30 Sitzplätze und 15 — 20 Stehplätze. Zu beiden Seiten eines Mittelganges sind Querbänke zusammen für je drei Personen angeordnet.

Thüren sind bei der Elberfelder Hochbahn für den gewöhnlichen Verkehr nur auf einer Seite der Wagen nötig, da auf allen Haltestellen in gleicher Weise Aussenbahnsteige vorgesehen sind. Die Thüren auf der anderen Seite der Wagen sind für gewöhnlich verschlossen und werden nur dann benützt, wenn bei Betriebsstörungen die Fahrgäste von dem einen Gleise in die Wagen des Nebengleises übergehen sollen. Ebenso werden die Thüren an den Kopfseiten der Wagen nur in Notfällen benutzt.

Der Wagenkasten hat eine innere Breite von 2,1 *m* und eine innere Länge von 11,3 *m* und der Zwischenraum zwischen den Stirnwänden zweier zusammengekuppelter Wagen beträgt 0,7 *m*. Um mit diesen langen Wagen leicht enge Krümmungen durchfahren zu können, hat jeder Wagen zwei Drehgestelle, welche einen Abstand von 8 *m* haben. Jedes Drehgestell hat zwei Laufachsen, zwischen denen je ein elektrischer Motor angebracht ist.

Die beiden Motoren eines jeden Wagens leisten bei 600 Volt Spannung je 25 PS. Die Leistung kann ähnlich wie bei den Strassenbahnmotoren in vielfacher Weise abgestuft werden. Die normale Umdrehungszahl beträgt 940 in der Minute, woraus sich bei einer Übersetzung von 1:4 und einem Laufraddurchmesser von 900 *mm* eine normale Fahrgeschwindigkeit von 40 *km* in der Stunde ergiebt. Die Gesamtgeschwindigkeit hängt von der Entfernung der einzelnen Stationen, sowie von der Dauer des Aufenthaltes ab. In Elberfeld, wo die mittlere Stationsentfernung 700 *m* beträgt, wird voraussichtlich einschliesslich der Aufenthalte eine Fahrgeschwindigkeit von mehr als 25 *km* in der Stunde erreicht werden. Wahrscheinlich wird sich bei weiteren Ausführungen empfehlen, eine normale Geschwindigkeit von 50 *km* anzunehmen, um die Gesamtgeschwindigkeit noch weiter zu erhöhen.

Von den vollkommen eingekapselten Zahnrädern bestehen die grösseren aus Stahlguss und die kleineren aus Bronze, eine Anordnung, welche sich hinsichtlich der Dauerhaftigkeit und Geräuschlosigkeit bisher als die beste erwiesen hat.

Bremsung kann in dreifacher Weise ausgeführt werden:

1. Luftdruckbremse nach dem System Westinghouse, welche auf alle Laufräder wirkt und vom Führerstande aus bethätigt wird. Die komprimierte Luft wird mit Hilfe von Elektromotoren erzeugt, in zwei Luftbehältern aufgespeichert und durch Rohrleitungen mit Schlauchkupplungen nach den einzelnen Bremscylindern geleitet.

2. Elektrische Bremsung, durch Schaltung der Motoren als Generatoren zur Erhaltung bestimmter Geschwindigkeit im Gefälle.

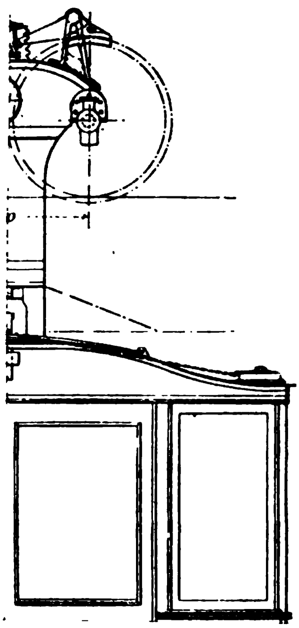
3. Handbremse.

Alle Bremsen werden vom Führerstande aus bethätigt. Die Luftdruckbremse ist so eingerichtet, dass sie auch von den Schaffnern oder selbst auch von den Fahrgästen bethätigt werden kann.

Die Wagen sind in den Figuren 117a, b, c, d und 118 in ihren Konstruktions-Einzelheiten dargestellt.

Die Haarmann'schen Blattstossschienen sind mittels Unterlagplatten und mit einer Filzzwischenlage auf dem Schienenträger befestigt. Der Schienenträger hat eine Doppel-T-Form und ist in seiner unteren Fläche nach einem um den Schienenkopf beschriebenen Kreis begrenzt, wodurch erreicht wird, dass auch beim Ausschwingen des Wagens die den Schienenträger umfassenden Teile des Wagens stets gleich geringen Spielraum behalten, in jeder Lage des Wagens Entgleisungen unmöglich machen und gleichwohl das freie Ausschwingen des Wagens nicht behindern.

Die Einzelstütze, welche nur in der Mitte von breiten Strassen oder auf Plätzen passend erscheint, kommt bei der Anlage Barmen-



die Schienenträger und damit der untere Horizontalträger in den

Krümmungen gekrümmt sind. Dass auf diese Weise für beide Gleise nur ein einziger Träger erforderlich ist, ist nicht nur günstig für die erforderliche Eisenmasse, sondern es giebt diese Konstruktion auch in der perspektivischen Ansicht stets ein leichtes und klares Bild. Während die Eisenkonstruktionen mit mehreren Querträgern wegen der vielfachen und unregelmässigen Überkreuzungen von Eisenstäben fast immer wirr und unklar aussehen, muss im Vergleich zu anderen Hochbahnen das klare, leichte und durchsichtige Aussehen der Schwebebahnkonstruktion angenehm auffallen. Die gesamte Breite der Bahnkonstruktion beträgt 4 *m*. Es ist diese Breite so gewählt, dass in den vorkommenden engen Krümmungen zwischen zwei einander begegnenden Wagen noch genügend Zwischenraum bleibt. Da bei der Elberfelder Hochbahn sehr viele Krümmungen vorkommen, ist diese sich in den Krümmungen ergebende Breite auch in den geraden Strecken beibehalten worden. Bei Bahnanlagen in Strassen, bei denen hauptsächlich gerade Linien vorkommen, würde man zweckmässig die Bahnkonstruktion noch schmäler halten können. Es ist dies wesentlich für das gute Aussehen und dafür, dass die Bahn der Strasse wenig Luft und Licht entzieht.

Zwischen den beiden Fahrschienen lässt sich ein bequemer und zweckmässig gelegener Revisionssteg anlegen. Je nach Art und Lage der Bahn kann entweder eine wasserdichte oder eine weniger verdunkelnde Decke gewählt werden. Liegt die Bahn dauernd über belebten Fusswegen, so wird eine wasserdichte Abdeckung zu empfehlen sein. Bei der Schwebebahn Barmen-Elberfeld, die entweder über der Wupper oder in der Mitte über den Fahrdämmen liegt, wird der 4 *m* breite Raum zwischen den Schienen nur in einer Breite von 2 *m* mit Bohlen abgedeckt.

Die Haltestellen liegen in einer durchschnittlichen Entfernung von 700 *m*. Bei allen Haltestellen werden die Gleise unverändert durchgeführt und seitwärts von den Gleisen Bahnsteige angeordnet. Dieselben sind vollkommen überdacht und seitlich mit Glaswänden versehen. Desgleichen sollen die Treppen, welche zu den Haltestellen führen, überdacht werden. Hinsichtlich der Treppen ist hervorzuheben, dass dieselben wesentlich kürzer sind, als die Haltestellentreppen bei den gewöhnlichen Hochbahnen. Bei der Schwebebahn liegt die Unterkante der Wagenkasten direkt über der frei zu haltenden Höhe, also bei Strassen nur $4^{1}/_{2}$ *m* über der Strassenkrone, während bei gewöhnlichen Hochbahnen in dieser Höhe erst die Konstruktionsunterkante liegt, sodass die Bahnsteige um die Konstruktionshöhe sowie um die Höhe der Radgestelle höher liegen.

An den beiden Enden der Bahn werden die Gleise mit einer Rückkehrschleife verbunden, sodass die Wagen ohne weiteres von

einem Gleis auf das andere gelangen. Ausserdem ist am Ende der Wupperstrecke in der Nähe des Zoologischen Gartens von Elberfeld eine Rückkehrschleife angeordnet, mittels welcher die Wagen, welche nur zwischen Elberfeld und Barmen und nicht nach Vohwinkel fahren sollen, direkt umdrehen können.

Diejenigen Weichen, welche in den Hauptgleisen liegen, sind derartig angeordnet, dass die Fahrschiene des Hauptgleises ganz ununterbrochen bleibt, sodass also in den gesamten Gleisen, welche von dem Publikum befahren werden, keinerlei Lücke und keinerlei Unterbrechung vorhanden ist. Es ist dieses mit Rücksicht auf die Sicherheit von ausserordentlicher Wichtigkeit.

Diese Weichen müssen zu dem Zweck so eingerichtet sein, dass die Wagen, welche das Hauptgleis verlassen wollen, sich um so viel heben, als die Höhe der Radspurkränze beträgt. Es ist also eine Art Kletterweiche.

Diejenigen Weichen, welche bei den Rangierbewegungen befahren werden, sind nach Art der Schleppweichen ausgebildet, jedoch nicht mit einem, sondern mit zwei beweglichen Armen, sodass in beiden Lagen der Weiche die Gleise ohne Knick durchgeführt werden.

Eine dritte Art von Weichen soll endlich an dem Wagenschuppen zur Verwendung kommen. Es besteht diese Weiche in einem längeren pendelnden Gleisstück, durch welches an das Stammgleis ohne weiteres vier Zweiggleise angeschlossen werden.

Die Pariser Weltausstellung zeigte in Vincennes ein kurzes Probestück der Langen'schen Schwebebahn. Hier waren nur Mittelstützen verwendet worden.

Am 6. Mai wurde in Loschwitz bei Dresden ein Verkehrsmittel dem Betriebe übergeben, das durch seine Eigenart bereits die Aufmerksamkeit weiter Kreise des In- und Auslandes erregt hat. Loschwitz kann sich rühmen, die erste Bergschwebebahn der Welt zu besitzen.

Mit der zwischen Barmen und Elberfeld erbauten Schwebebahn hat die Bergschwebebahn den vorher beschriebenen Grundsatz, die frei pendelnde Aufhängung des Wagens an einer Schiene gemeinsam. Beide Bahnen sind von der »Kontinentalen Gesellschaft für elektrische Unternehmungen« in Nürnberg, der Besitzerin des Langenschen Patentes, entworfen, die sich zum Zwecke der konstruktiven Durchbildung auch für dieses Projekt mit der früheren »Maschinenbau-Aktiengesellschaft«, Nürnberg, jetzt »Vereinigte Maschinenfabriken Augsburg und Nürnberg« zu gemeinsamer erspriesslicher Arbeit verbunden hat.

Von der »Kontinentalen Gesellschaft« hat die Dresdener Aktiengesellschaft Elektra das Projekt käuflich übernommen und dann

unter ihrer Aufsicht ausführen lassen. Die Elberfelder Bahn stellt die Lösung für den Betrieb in der Ebene, die Loschwitzer die für den speziellen Bergbahnbetrieb dar.

Die Aufgabe, das Rochwitzer Hochplateau von Loschwitz aus mittels einer Bahn erreichbar zu machen, bot vor allem die Schwierigkeit, dass zwei Strassen, die Viktoriastrasse und der erste Steinweg, zu überschreiten waren, ohne dass der Fussgänger- und Wagenverkehr gestört werden durfte. In der Ebene würde das keine Schwierigkeit bereitet haben. Die starke Steigung jedoch — die Bahn überwindet auf 250 *m* Länge eine Höhe von 80 *m*, mithin eine mittlere Steigung von 32% — machte die Anwendung eines Drahtseiles oder Zahnstangenantriebes unumgänglich. Beide Antriebsarten schliessen aber in den zu kreuzenden Strassen einen ungehinderten Verkehr aus.

Hier war das Schwebebahnsystem vor allem geeignet, die Schwierigkeiten befriedigend zu lösen, und es wurde das System nach reiflicher Überlegung zur Ausführung gewählt. Die Bahn beginnt in Loschwitz, Pillnitzer Strasse 5, unweit des Endpunktes der beiden Dresdner Strassenbahnen und führt auf eigenem Grund und Boden nach Überschreitung der Viktoriastrasse und des ersten Steinweges auf die Rochwitzer Höhe, wo sie neben dem Restaurant »Loschwitzhöhe« endigt. Anfangs- und Endpunkt sind durch geschmackvolle Stationsgebäude gebildet, von denen das untere mit Fahrkartenverkauf, Warte- und Bureauräumen ausgestattet ist, während das obere ausser den gleichen Räumen die Maschinenanlage enthält. Mit grossen Kosten ist bei der weithin sichtbaren oberen Station der ästhetische Gesichtspunkt berücksichtigt worden. Die stattliche Höhe, mit der sie wartturmartig das Elbthal überragt, wird durch die bei einer Dampfkesselanlage unumgänglich notwendigen Schornsteine bedingt, welche hier unauffällig untergebracht in den beiden Eckaufsätzen münden, ohne das Landschaftsbild zu verunzieren.

Den Bahnkörper bilden 33 flussstählerne, aus Winkeleisen und Blechen genietete, vertikale Joche, die bis auf eines, das zur Aufnahme aller Längskräfte dienende Ankerjoch, als sogenannte Pendelstützen konstruiert sind, d. h. als Stützen, die nur Vertikaldrucke aufnehmen und um ihre Auflagerpunkte gewisse, durch die Temperatureinwirkungen bedingte kleine Bewegungen ausführen können. Jedes Pendeljoch stützt sich auf ein gewaltiges, tief in den Boden reichendes Betonfundament, mit welchem es durch feste Anker verbunden ist. Das vorerwähnte Ankerjoch, die feste Stütze, an der die gesamte, etwa 300 *t* = 6000 Centner wiegende Eisenkonstruktion ihren Halt findet, wurzelt mit seinen vier Füssen in vier mächtigen Fundamentklötzen. Durch mehrere starke Stützmauern, sowie durch

ein sinnreiches Entwässerungssystem ist der ganze Bergabhang gegen jede Bewegung des Bodens gesichert.

Auf die 33 Joche lagern sich zwei Längsträger von kastenförmigem Querschnitt auf, die an seitlich ausragenden Armen der Joche befestigt sind. Jeder Längsträger dient wieder der eigentlichen Fahrschiene als Unterlage. Auf den Fahrschienen bewegen sich die beiden, untereinander durch ein Drahtseil verbundenen Betriebswagen mittels zweier Laufräder abwechselnd auf und ab. Am Anfangs- und Endpunkte der Bahn senken sich die Fahrschienenträger soweit herab, dass der Wagenfussboden mit dem Bahnsteige in gleicher Höhe liegt, was zum mühelosen Besteigen und Verlassen des Wagens wesentlich beiträgt. Entsprechend der Unregelmässigkeit des Bergabhanges und der Notwendigkeit, der Bahnlinie eine gleichförmige Steigung zu geben, erheben sich die Stützen in der Mitte zu immer bedeutenderer Höhe, bis schliesslich die Fahrschiene fast 15 *m* über dem Boden hinführt, ohne dass jedoch den Insassen des Wagens die Höhe, in der sie dahinschweben, irgend unangenehm zum Bewusstsein kommt. Herrlich ist vielmehr bald nach Verlassen der unteren Station die schnelle Entwickelung des tief unten liegenden Panoramas.

Wie bereits erwähnt, sind die auf den beiden Gleisen laufenden Wagen durch ein Drahtseil fest verbunden. Der Antrieb geschieht in der Weise, dass das Seil in der oberen Station um ein System von grossen Seilscheiben geführt ist, die mittels Zahnrädervorgelege von zwei Lokomobilen angetrieben werden; je nachdem der Maschinist die Steuerung umlegt, wird das Seil in der einen oder anderen Richtung abgewickelt. Für den normalen Betrieb mit je einem Wagen an jedem Ende des Seiles reicht eine Lokomobile aus. Die zweite dient als Reserve und tritt nur dann zur Unterstützung ein, wenn bei grossem Andrange jedem Betriebswagen noch ein gleich grosser Beiwagen vorgesetzt wird. Jede Lokomobile kann 80 PS entwickeln. Anfangs sollten Elektromotoren diese Seilscheiben bewegen. Da aber das in der Nähe errichtete Bühlauer Elektrizitätswerk zu spät fertig wurde, um in das Schwebebahnprojekt einbezogen werden zu können, musste man zu dieser Aushilfe greifen.

Jeder Wagen ist für 40 Personen bemessen; beide Stirnseiten sind vollständig verglast, sodass man von jedem Platze aus die herrliche Aussicht geniessen kann. Die Ausstattung ist einfach, aber geschmackvoll gehalten und entspricht im allgemeinen der zweiten Klasse der Staatsbahnen. Jeder Wagen wiegt besetzt 12 *t* gleich 240 Centner. Das Gussstahldrahtseil von 4,4 *cm* Durchmesser bietet gegenüber der grössten auftretenden Beanspruchung noch eine mehr als zehnfache Sicherheit. Die Form des Wagens weicht von der

aller bekannten Fahrzeuge, auch der in Elberfeld benutzten, wesentlich ab. Der treppenförmig abgesetzte Wagenkasten hängt frei an zwei kräftigen, aus Flussstahlträgern und Blechen gebildeten Hängebügeln, in denen die Laufräder gelagert sind.

Ganz besonders grosse Sorgfalt ist auf die Durchbildung derjenigen Einrichtungen verwendet, die zur Regelung des Betriebes und zur Sicherung gegen Unglücksfälle bestimmt sind.

Ein sinnreiches elektrisches Signalsystem mit sicht- und hörbaren Signalen nach Art der im Eisenbahnbetriebe gebräuchlichen, dient zur Regelung der Abfahrt und Ankunft der Züge. Die Bedienung dieser Fahrsignale geschieht vom Maschinenhause und von den Bahnsteigen der oberen und unteren Station aus.

Ausserdem ist jeder Wagen noch mit einer aus Signalgeber und Telephon bestehenden Notsignaleinrichtung ausgerüstet, die es dem Schaffner ermöglicht, während der Fahrt von jedem Punkte der Bahnstrecke aus sich mit dem Maschinisten, wenn nötig, in Verbindung zu setzen.

Jeder Wagen ist mit drei besonders wirksamen Bremsen nach dem bewährten Systeme Bucher-Durrer versehen, von denen zwei automatische schon bei dem geringsten Nachlassen der Seilspannung in Thätigkeit treten, indem sie den Wagen durch Anpressen kräftiger Bremszangen an die Fahrschienen zum Stehen bringen. Die dritte Bremse lässt sich von der Plattform des Wagens aus mittels Handrades bethätigen.

Überdies hat jeder Wagen noch zwei Bremsrollen zur Verhütung etwaiger übermässiger Pendelschwingungen, die jedoch nach den bisherigen Erfahrungen niemals in Thätigkeit zu treten brauchen.

Die dritte Gruppe von Sicherheitseinrichtungen befindet sich im Maschinenhause. An einer von der Seiltrommel bethätigten Zeigervorrichtung kann der Maschinist jederzeit den jeweiligen Stand der Wagen auf der Strecke erkennen und darnach das Arbeiten der Dampfmaschine regeln. Vor einer Überschreitung der zulässigen grössten Fahrgeschwindigkeit warnt ihn ein selbstthätiges Läutesignal.

Die Hauptsicherheit liegt jedoch darin, dass der jeweils auf der oberen Station ankommende Zug selbstthätig eine Bremsvorrichtung auslöst, welche die Betriebsmaschine auf alle Fälle — unabhängig von der Aufmerksamkeit des Maschinisten — zum Stehen bringt, sodass ein Auffahren der Wagen an ihren Endpunkten und eine Überanstrengung des Seiles auf alle Fälle ausgeschlossen ist. Natürlich ist auch dafür gesorgt, dass der Maschinist das Getriebe von Hand bremsen kann.

Die genaue Betrachtung der geschilderten Sicherheitsvorkehrungen dürfte auch ängstlichen Gemütern zur Beruhigung genügen. Man

übertreibt nicht, wenn man die Betriebssicherheit des Schwebebahnsystems erheblich höher als die der übrigen Bahnsysteme anschlägt, da eine Entgleisungsgefahr so gut wie ausgeschlossen ist. Die regelmässige Benutzung wird ohne Zweifel auch weiteren Kreisen des Publikums das gleiche Zutrauen geben, das die Fachleute von Anfang an dem Schwebebahnsystem entgegengebracht haben.

b) Zweischienige Schwebebahnen.

Während die vorige Type der Schwebebahnen zum Vorläufer die Seilschwebebahnen hatte, können die zweischienigen Bahnen mit den Krananlagen verglichen werden, bei denen die Kranlaufschienen auf sehr schmale Spur zusammengezogen sind. Als interessantes Beispiel kann der patentierte Aspinall'sche, von der Firma Mather & Platt, Ltd., Manchester, gebaute Apparat bezeichnet werden. Derselbe ist sowohl für Hebe- als auch für Transportzwecke bestimmt und wird in dem Viktoria-Bahnhofe in Manchester zum Einsammeln und Befördern von Gepäckstücken zwischen den verschiedenen Bahnsteigen verwendet.



Fig. 120.

Der Fahrkran ist zum Heben von 750 *kg* Gepäck bestimmt, wobei die Hubgeschwindigkeit 7,5 *m*/Minute und die Fahrgeschwindigkeit 12,60 *km*/Stunde beträgt. Der Motor wird mit Gleichstrom von 100 — 110 Volt gespeist.

Der Apparat ist in Fig. 120 dargestellt und besteht im wesentlichen aus einem Elektromotor, welcher auf einer Schienenanlage montiert ist. Letztere trägt die Triebräder und das Triebwerk zum

Aufziehen, Herablassen und zum Transport, ferner auch den Sitz für den Wärter. Die Triebräder sind doppelflanschig und laufen auf einem schmalspurigen Schienenweg, der an der Dachkonstruktion aufgehängt ist. Die Räder sind von den Achsen sowohl, wie von allen anderen Teilen des Krans isoliert, da die Stromzuführung durch die Schienen stattfindet. Die Schienen sind deshalb auch von ihrer Aufhängevorrichtung isoliert. Der zum Antrieb erforderliche Strom beim Aufzug einer Last von 500 *kg* beträgt 40 Ampère und sinkt schnell auf 15 Ampère herab. Die schmale Spurweite für den Motor und die nur wenig Raum einnehmende Schienenanlage ermöglichen es, dass der Apparat auch nach abgelegenen kleinen Räumen eines Speichers u. s. w. geleitet werden kann. Die für Eisenbahnstationen in Anwendung kommende Type ist für das oben erwähnte Gewicht von 750 *kg* gebaut; der Apparat kann aber auch für die doppelte Last hergestellt werden. Ein Umschalter in Verbindung mit einer mechanischen Kuppelung setzt den Wärter in den Stand, nach Belieben aufzuziehen, herabzulassen oder zu fahren. Da der Apparat zu gleicher Zeit den Wärter trägt, kann dieser von oben herab die Bahnsteige bequem übersehen und das Gepäck auch bei Menschenandrang ohne Belästigung des Publikums schnell befördern.

Dieser Laufkran ist seit längerer Zeit in der Viktoria-Station der Lancashire- und Yorkshire-Eisenbahn in Manchester auf einer Strecke von 272 *m* in Gebrauch und hat sich gut bewährt. Einem ähnlichen Zwecke dient die folgende elektrisch betriebene Aktentransportbahn.

In grossen Geschäftshäusern, in Banken, Postanstalten, Buchdruckereien, Hotels u. dergl. stellt sich oft die Notwendigkeit ein, neben den Vorrichtungen zum Transport in senkrechter Richtung, wie es die Aufzüge ermöglichen, auch die verschiedensten Gegenstände, wie Bücher, Akten, Wäsche u. s. w., in wagrechter Richtung zu bewegen.

Zu diesem Zwecke hat die elektrotechnische Fabrik von C. & E. Fein in Stuttgart eine sogenannte Aktentransportbahn konstruiert, welche durch Fig. 121 dargestellt ist. Dieselbe wird durch einen Elektromotor in vollständig abgeschlossener Form Mod. G. M. betrieben, der gewöhnlich eine Leistung von $^1/_{10}$ PS. besitzt. Auf dessen Achse sitzt ein Rohhauttrieb, welcher ein gusseisernes Zahnrad, ebenfalls in geschlossenem Gehäuse untergebracht, bewegt.

An der Welle des Zahnrades, das sich in der Zeichnung rechts befindet, sind zwei Laufräder befestigt, welche die Bewegung der Bahn mit einer Geschwindigkeit von 1—1,5 *m* pro Sekunde bewirken.

An der hinteren Seite des Elektromotors ist symmetrisch zur Lagerung des Zahnrades ein zweites Lager zur Aufnahme einer

Achse mit weiteren zwei Rädern angeschraubt. Diese vier Räder haben kräftige Eindrehungen und bewegen sich auf Schienen, welche, gewöhnlich aus Winkeleisen bestehend, auf Konsolen an der Wand oder auf Tragständern befestigt werden.

An den beiden Lagern befinden sich noch Angüsse, welche sowohl zur Aufnahme der Puffer dienen, als auch eine Vorrichtung tragen, in welche jeweils am Anfang und Ende der Bahn ein Hebel einschnappt und dieselbe festhält; weiter sind noch vier Arme zum Festschrauben eines wasserdichten Blechkastens angegossen.

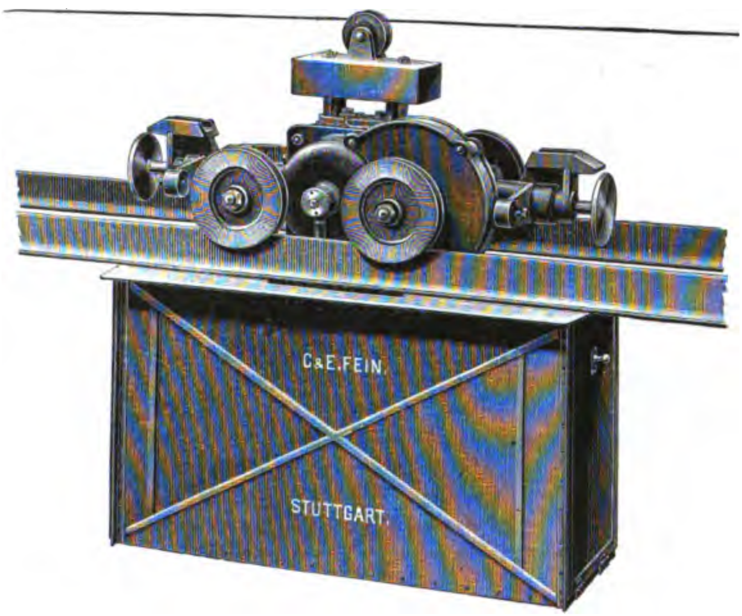


Fig. 121.

Die Stromzuführung zu dem Elektromotor der durch die Abbildung dargestellten Anordnung erfolgt einerseits durch die Schienen und Räder, anderseits befindet sich auf der oberen Seite des Elektromotors eine Stromzuführung, welche aus einer federnden Kontaktrolle mit isoliertem Schutzgehäuse besteht. Diese Anordnung wird gewöhnlich für Stromquellen verwendet, bei welchen eine Leitung an Erde liegt. Bei isolierten Leitern wird der Strom durch zwei Kontaktrollen zugeführt.

Unterhalb des Motors hängt der eigentliche Transportkasten, dessen Grösse und Beschaffenheit sich nach den zu transportierenden Gegenständen richtet und an dessen vorderer und hinterer Seite

Thüren angebracht sind, von denen die eine am Anfang, die andere am Ende der Bahn sich öffnen lässt.

Im Innern des Kastens befindet sich an der Decke ein Polwender, mittels dessen die Stromrichtung im Motoranker am Ende der Strecke umgekehrt wird, um dem Wagen die umgekehrte Bewegungsrichtung zu geben.

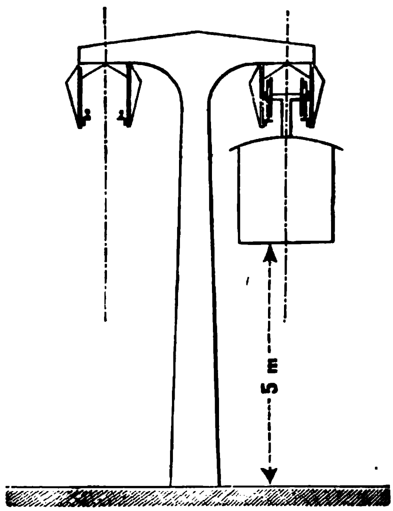


Fig. 122.

Zum Anhalten des Wagens an den Endstationen ist die Stromleitung nur bis zu einer gewissen Entfernung vor der Endstation geführt, sodass der Wagen die letzte Strecke bis zu den Puffern durch die eigene lebendige Kraft fortbewegt wird. Um ein möglichst rasches Anhalten zu bewirken, erhalten die Schienen an ihrem Ende noch eine kleine Steigung. Wenn der Wagen wieder in Bewegung gesetzt werden soll, wird die Einschnappvorrichtung gelüftet, worauf der Wagen durch sein eigenes Gewicht bis zu der Stelle läuft, wo der Stromzuführungsdraht beginnt, von wo ab der Motor Strom erhält. Eine Anlage dieser Art mit drei solchen Bahnen ist seit längerer Zeit bei dem Allgemeinen Deutschen Versicherungsverein in Stuttgart in Betrieb und hat sich dort bestens bewährt.

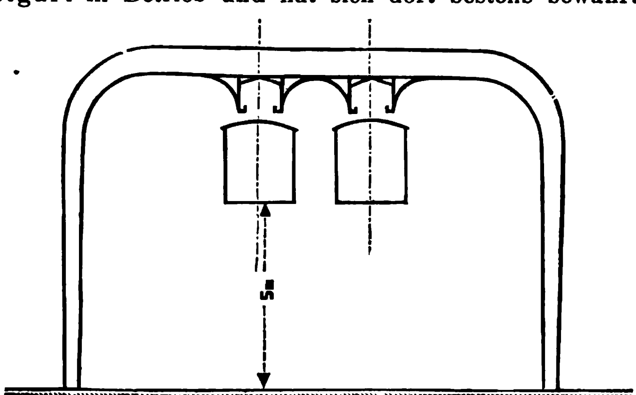


Fig. 123.

Die typischen Formen zweischieniger Schwebebahnen für grössere Betriebe als die vorgeschriebenen werden charakterisiert durch die ersten Langen'schen Konstruktionen und durch die Müller-Dietrich-

sche Anordnung, welche grosse Ähnlichkeit mit dem Cook'schen System hat.

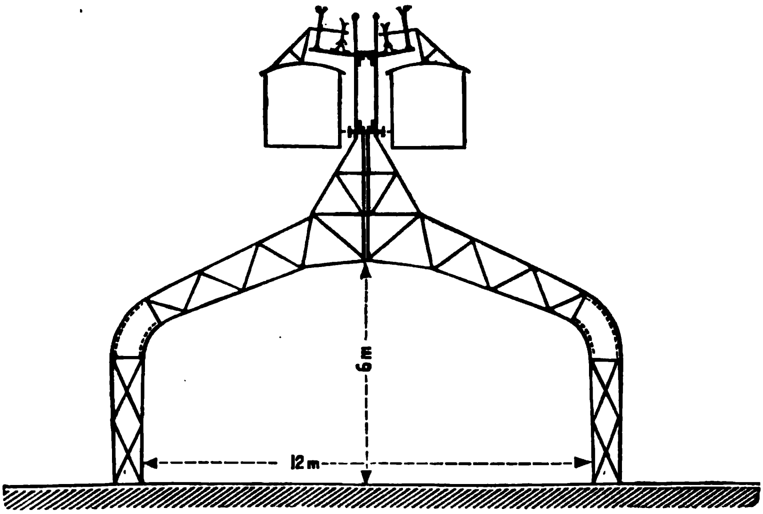


Fig. 124.

Das Schema der ersteren stellt Fig. 122 und 123, das der letzteren Konstruktion Fig. 124 und 125 dar. Beide Anordnungen sind über Probe-Ausführungen und Entwürfe nicht hinweggekommen. In der Mitte des Bogens sollten bei der Langen'schen Anordnung zwei kastenförmige, das Gleis fassende Gitterträger, innerhalb welchen der schmalspurige Motor- und Tragwagen sich befindet, den Haupt-Längsträger bilden.

Während sich nun hier der zu befördernde Wagen unter der Lauf- und Tragschiene befindet, mithin die Schwerlinie zwischen die Lauf- oder Tragschiene fällt, bezweckt die Müller-Dietrich'sche Konstruktion, derartige Bahnen dadurch

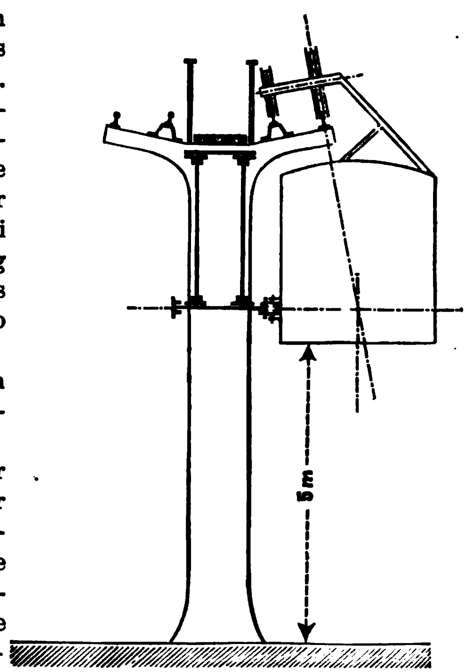


Fig. 125.

zwangläufig zu machen, dass die Wagenkasten seitlich ihrer Schwerlinie aufgehängt werden und die lotrechte Stellung der Wagen durch seitliche Führungsräder gesichert wird. Die oberen Laufräder werden dabei soweit schräg gestellt, dass ihre Mittellinie durch den Schnittpunkt der Schwerlinie des Wagens und der Auflagereaktion der Führungsräder geht. Die infolge einseitiger Belastung der Wagen entstehenden Drehungsmomente werden von den Doppelflanschen der oberen Laufräder und den unteren Führungsrädern aufgenommen. Das Mass der Abweichung der Laufräder von der Wagenmitte ist durch die Bedingung bestimmt, dass der Grösstwert der Fliehkraft in den schärfsten Kurven den Druck auf die wagerechten Räder nicht unter Null bringen darf. Der Träger wird durch die seitliche Belastung nicht nur auf Biegung, sondern auch auf Torsion beansprucht und muss deshalb irgendwie als räumliches Stabwerk ausgebildet werden.

Die Dietrich'sche Anordnung erreicht, dass willkürliche Seitenschwankungen der Wagen vermieden werden, wie solche sich beispielsweise bei einer nur mit vertikalen und oberen Laufrädern ausgeführten Schwebebahn dann ergeben, wenn kleine, technisch kaum zu vermeidende Unregelmässigkeiten in der Höhenlage der beiden oberen Tragschienen vorkommen: Aus diesen Gründen ging Langen sehr bald von der zweischienigen Bauart ab.

Für den Fall einer hochliegenden zweigleisigen Strassenbahn, wie solche in Fig. 125 zur Darstellung gebracht worden ist, ergiebt sich aus der Konstruktion der Vorteil, dass das Traggerüst einer solchen Bahn auch bei grossem Abstande der Stützen mit geringem Materialaufwande hergestellt werden kann.

Die auf der äusseren Tragschiene laufenden Räder werden angetrieben, während die kleineren Räder nur Laufräder sind und zum Tragen des Triebmotors dienen. Letztere müssen auf den Achsen lose sitzen und nach Belieben auch mit kleinerem Durchmesser auf höher liegender Schiene laufen. Der Antrieb der äusseren Lauf- und Triebräder kann aber auch von einem auf dem Wagen selbst angeordneten Motor erfolgen, in welchem Falle die inneren Schienen auf dem Träger fortfallen und statt der doppelten Triebräder nur einfache Räder verwendet werden können.

Die Bedienung des Motors erfolgt, wie auch bei der Langen'schen Idee, vom Wagen aus, während für die Revision der beschriebenen Bahn ein Laufsteg oberhalb des Trägers mit leichtem Seitengeländer angeordnet ist.

Die unteren Führungsräder sind in den Scheidewänden der Wagenabteile unterhalb der Sitze so angeordnet, dass sie nur um ein kleines Mass aus der Wagenwand hervorragen; dieses Mass hängt von der Länge der Wagen und dem Radius der kleinsten

Kurven ab, derart, dass die Wagenwände niemals den Träger berühren dürfen.

Um die Stösse dieser kleinen Führungsräder zu mildern, können dieselben mit starken Gummibandagen versehen werden, was unbedenklich erscheint, weil die Räder nur mit geringem Druck, der horizontalen Gewichtskomponente entsprechend, belastet sind.

Beim Betriebe der Schwebebahnen kann es vorkommen, dass betriebsunfähig gewordene Wagen vom Gleise entfernt werden müssen, und da dieses schnell geschehen muss, um den übrigen Verkehr nicht zu behindern und da hier nicht, wie bei der Niveaubahn (Strassenbahn), ein Übergangsgleis geschaffen werden kann, scheint eine einfache Lösung dadurch gefunden zu sein, dass man entweder vermittelst eines auf der Strasse zur Unfallstelle heranfahrbaren Kranwagens den fraglichen Wagen von unten abhebt oder vermittelst Ketten und Flaschenzug denselben von oben hinunterlässt.

Die bisher an die Öffentlichkeit gedrungenen Konstruktionen der Dietrich'schen Schwebebahn lassen noch nicht erkennen, wie die Konstrukteure sich das Einmünden einer Seitenlinie in die Hauptlinie, bezw. wie sie sich die Einschaltung einer Weiche gedacht haben. Die Lösung dieser Aufgabe, die sicherlich in Betracht kommen muss, wenn man die Strassenbahnen durch die Schwebebahnen ersetzen will, scheint nur mit Hilfe von Schleppweichen möglich zu sein, wobei der ganze kastenförmige Gleisträger die Schleppbewegung mitmachen muss. Kreuzungen zweier Linien lassen sich dadurch am einfachsten bewerkstelligen, dass die Wagen übereinander weggeführt werden.

V.

Stufenbahnen.

Gewissermassen als Vervollständigung der Möglichkeiten, auf elektrischem Wege eine grosse Menge Personen schnell zu befördern, mögen die nachfolgenden Seiten gelten, ohne dabei ein der Eisenbahnpraxis sehr naheliegendes Verkehrsobjekt behandeln zu wollen.

Die Stufenbahn besteht aus einer Kette von zwei oder mehreren Plattformen, welche sich in genau zu einander geregelter Geschwindigkeit parallel bewegen. Ihren Namen führt dieses neue Verkehrsmittel wegen des stufenweisen Überganges zur gewünschten Fahrgeschwindigkeit, welche durch Ersteigung niedriger, etwa 4 *cm* hoher Stufen erreicht wird.

Die in der Berliner Gewerbe-Ausstellung 1896 in Betrieb gewesene Stufenbahn, welche durch den General-Unternehmer für Eisenbahnen, Richard Damm, zum ersten Male in Europa zur Ausführung gelangte, war mit zwei Plattformen ausgerüstet. Die innere sich langsam bewegende Plattform diente als Verbindungsglied zwischen dem sich längs der Bahn hinziehenden festen Bahnsteig und der sich rascher bewegenden Plattform, auf welcher die Sitzplätze angebracht waren. Durch die geringen Geschwindigkeitsdifferenzen der drei Stufen war es den Fahrgästen ermöglicht, mit Sicherheit und Bequemlichkeit vom festen Boden die Sitzplätze der Bahn zu erreichen und dieselben an jedem beliebigen Punkte zu verlassen, ohne dass die Bahn zum Stillstand gebracht wird. Die Stufenbahn löst die Aufgabe, das zum Besteigen und Verlassen der Eisenbahnzüge oder der Strassenbahnen zeitraubende Anhalten zu vermeiden.

Die Erfinder dieses Beförderungssystems für Personen sind Oberbaurat W. Rettig und dessen Bruder, der königliche Baurat H. Rettig. Dieselben haben bereits im Jahre 1889 vor Behörden und geladenem Publikum in Münster in Westfalen auf einer dort erbauten Versuchsstrecke die Durchführbarkeit ihres Systems bewiesen. Die in Fig. 126 dargestellte Bahn stellt die in ihren Einzelheiten hierunter beschriebene Ausstellungsbahn in Chicago dar.

Die amerikanische Konstruktion der Stufenbahn, deren Betrieb auf der Chicagoer Weltausstellung (1893), ebenso wie auf der Berliner Ausstellung (1896), mit Elektromotoren an z. B. jeder zehnten Lauf-

achse bewirkt wurde, stellt ein altbekanntes mechanisches Gesetz in den Dienst der Praxis. Die Fortbewegung einer bewegten Schiene S,



Fig. 126.

vergl. Fig. 127, auf der Peripherie einer Walze oder eines Rades R geschieht mit der doppelten Geschwindigkeit, mit welcher sich die Achse oder das Centrum eines Rades bewegt. Nach diesem Prinzip ist die sich langsam bewegende Plattform P_1, auf welche der Fahr-

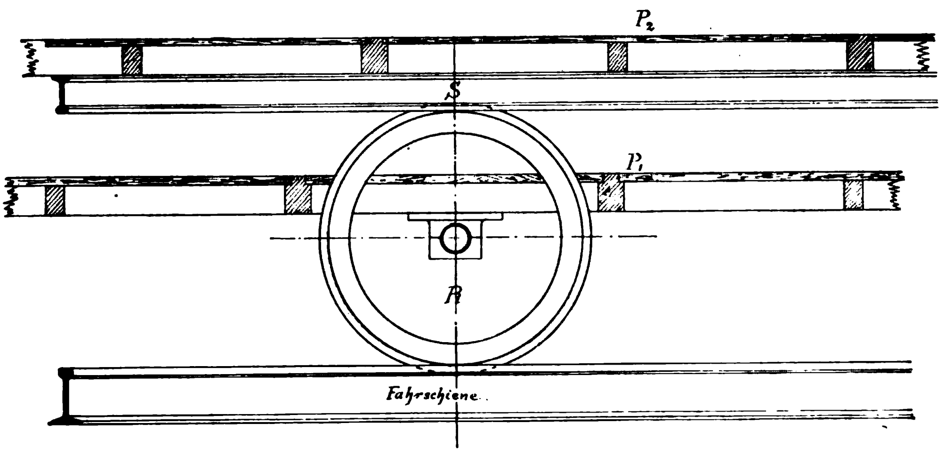


Fig. 127.

gast zuerst tritt, an die Achse des Rades befestigt und erstere bewegt sich demnach mit der Geschwindigkeit dieser Achse. Die nächste Plattform P_2 befindet sich oben auf dem Rade und hat dementsprechend die doppelte Geschwindigkeit der ersten Plattform P_1. Die

zweite Plattform P_2 bewegt sich auf zwei ununterbrochenen beweglichen Schienensträngen S, das Rad der ersten Plattform auf einer festen Schiene F. Beim Ab- und Zunehmen der Achsengeschwindigkeit nimmt die Geschwindigkeit der Plattform, auf welcher sich die Fahrgäste befinden, ab und zu; die Geschwindigkeit beider Plattformen muss daher stets in demselben Verhältnis bleiben und kann auf das Genaueste reguliert werden.

Die Geschwindigkeit der ersten Plattform der auf der Berliner Gewerbe-Ausstellung nach genannter Konstruktion ausgeführten Stufenbahn war $1^1/_2$ *m* in der Sekunde. Dieselbe entspricht der durchschnittlichen Geschwindigkeit eines Fussgängers. Die zweite Plattform bewegt sich dementsprechend mit 3 *m* in der Sekunde oder mit 180 *m* in der Minute, sodass die Fahrgeschwindigkeit der Stufenbahn ungefähr 11 *km* in der Stunde betrug.

Der feste Steg, welcher sich in beliebiger Höhe über dem Erdboden längs des Bahnkörpers hinzog und zu welchem bequeme Treppen führten, hatte eine Breite von 1,50 *m*; die erste Plattform war ungefähr 1 *m* breit, die zweite Plattform 1,25 *m*, sodass die Gesamtbreite der Anlage 3,75 *m* betrug. An den Hauptverkehrspunkten erweiterte sich der feste Bahnsteg.

Die Leistungsfähigkeit der Stufenbahn kann ohne Zweifel die grössten Anforderungen, welche man an irgend ein Verkehrsmittel stellt, befriedigen.

Die ununterbrochene Bewegung, in welcher sich die Stufenbahn befindet, ergiebt selbst bei einer geringen Fahrgeschwindigkeit ein schnelleres Fortkommen der Personen, als dies bei anderen Verkehrsmitteln möglich ist. Die Stufenbahn hält nirgends an, sie fährt an den Ecken der Strassen nicht langsamer, um in dieselben einzubiegen; sie vergeudet keine Zeit und Energie mit Bremsen und Anfahren, weil sie stets in Bewegung bleibt. Diese Zeitersparnis ist so bedeutend, dass, um ein Beispiel anzuführen, eine Strassenbahn, welche mit einer Geschwindigkeit von 12 *km* in der Stunde fährt, nur einen Weg von etwa 8 *km* thatsächlich zurücklegt; die übrige Zeit ist durch Bremsen, Halten und Anfahren verbraucht worden. Ganz besonders aber kommt bei dem Stufenbahnbetriebe der Fortfall des Aufenthaltes in Betracht, welcher für das Warten auf die Ankunft und die Abfahrt der Züge bei allen bisher gekannten Verkehrsmitteln aufgewendet werden muss. Dadurch, dass bei der Stufenbahn der Fahrgast an jedem Punkt und zu jeder beliebigen Zeit die Bahn besteigen oder verlassen kann, wird die Leistungsfähigkeit derselben derartig erhöht, dass sie bei einer Fahrgeschwindigkeit von nur 11 *km* in der Stunde jede Strassenbahn an Beförderungsschnelligkeit übertrifft. Diesen Nachweis hat Oberbaurat Rettig in seiner

Denkschrift über: »Die Stufenbahn, neues Verkehrsmittel zur Bewältigung des Personen-Massenverkehrs in Grossstädten« auf Grund technischer Erhebungen erbracht.

Auf je 1 *m* Bahnlänge befinden sich zwei Sitzplätze (ausser den Stehplätzen), d. h. auf 2500 *m* Bahnlänge können 5000 Personen zu gleicher Zeit Platz nehmen. Bei der ununterbrochenen, kettenförmigen Bewegung der Stufenbahn sind jede Minute 416 Plätze an jedem Punkte der 2500 *m* langen Bahn zur Verfügung des Publikums. Nehmen wir an, dass jeder Fahrgast den ganzen Weg von 2500 *m* in 12 Minuten auf der Stufenbahn zurücklegt, so können bei 5000 Sitzplätzen in einer Stunde 25000 Personen befördert werden.

Die Stufenbahn der Berliner Ausstellung 1896 ruhte auf hölzernem Unterbau, welcher mit einem wasserdichten Leinwanddach überspannt war.

Die Stufenbahn vereinigt das wertvolle Prinzip der grössten Betriebssicherheit mit der grössten Zeitersparnis im Verkehr; sie überwindet auf das leichteste Steigungen und Kurven.

Durch die gleichmässige Verteilung des Gewichtes ist die Last der Stufenbahn auf eine Einheit nicht gross.

Die Errichtung einer Stufenbahn empfiehlt sich als Verkehrsverbindung zweier durch örtliche Verhältnisse, wie z. B. durch Flüsse, auseinander gehaltener Verkehrspunkte, bei Ausstellungen im allgemeinen, von und zum Ausstellungsplatze und auf diesem letzteren selbst, zur Vermittelung des Binnenverkehrs u. dergl. Für städtischen Betrieb ist sie noch nirgends ernsthaft in Erwägung gezogen worden.

Als ein Mangel der Stufenbahn muss die fast gleichmässig verbrauchte Arbeit bei Besetzung oder Nichtbesetzung der Bahn angesehen werden, während andere Bahnen je nach der Verkehrsdichte Wagen einstellen oder fortlassen können. Ferner ist die Abhängigkeit aller Wagen von einem etwa beschädigten als Betriebsnachteil anzusehen.

Die bisher noch geringe Verbreitung der Stufenbahnen im öffentlichen Leben spricht für den Überschuss der Nachteile über ihre Vorteile.

Ein noch schlummerndes Anwendungsgebiet der Stufenbahnen liegt in bewegten Bahnsteigen und Bahnsteig-Zugangstreppen für Stadtbahnen (Hoch- und Tiefbahnen). Hierfür zeigte die Pariser Weltausstellung 1900 zahlreiche Ausführungen und praktische Verwendungen.

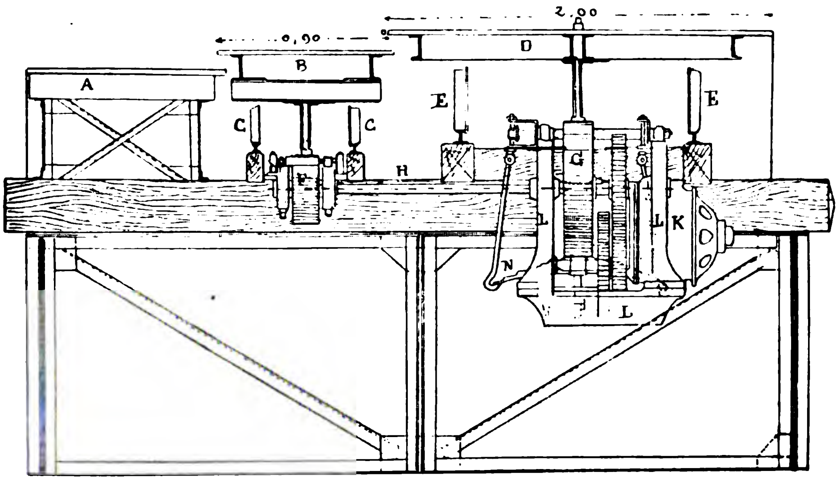
Das sogenannte »Trottoir roulant«, auf der Pariser Weltausstellung ist die grösste jemals ausgeführte Stufenbahn gewesen. Sie nahm ihren Weg vom Quai d'Orsay aus in die Rue Forbert,

dann durch die Avenue de la Motte-Fouquet und längs der Avenue de la Bourdonnais wieder zum Quai d'Orsay zurück, ein ungleichseitiges Viereck mit stark abgerundeten Ecken bildend, dessen Umfang nahezu 3400 *m* beträgt. Der betreffende Vorschlag ist von Herrn Blot ausgegangen, der auch schon zur Pariser Weltausstellung 1889 seine im Jahre 1886 patentierte elektrische Rollbahn zur Ausführung beantragte, ohne damit durchzudringen.

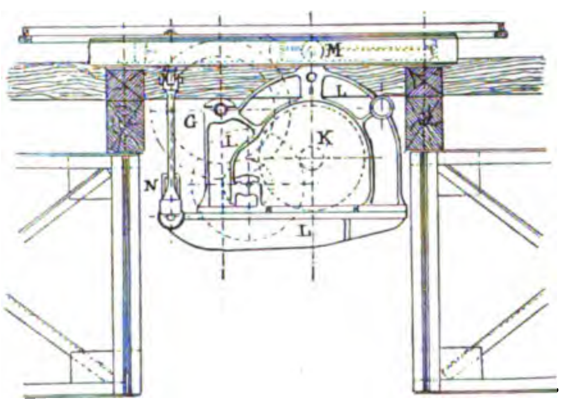
Die Konstruktion unterscheidet sich wesentlich von den Stufenbahnen durch die Fortbewegungsart und die dazu erforderlichen mechanischen und elektrischen Einrichtungen.

Der Viadukt trägt drei Trottoire, deren eines still steht, während das zweite mit einer Geschwindigkeit von 4, das dritte mit einer solchen von 8 *km* rollt; die letztere Bahn legt somit den ganzen Weg in 26 Minuten zurück. Die erste bewegliche Bahn ist 90 *cm* breit und eigentlich nur bestimmt, den Übergang von dem festen zum zweiten rollenden Trottoir zu vermitteln, welches letztere 2 *m* breit ist.

Das Eigentümliche der für die Weltausstellung von 1900 eingerichteten »rollenden Trottoire« bestand darin, dass die der Fortbewegung dienenden Teile von dem stützenden und rollendeu Material getrennt sind. Die Fortbewegung jedes Trottoirs geschieht mittels einer Rolle, die durch Reibung auf einen Träger wirkt, welcher, der Mittellinie des Trucks folgend, befestigt ist. Die Trucks sind von zwei zu zwei mit Räderpaaren versehen, die durch seitliche Schienen getragen und dirigiert werden, die sich unter der Plattform befinden. Die Reibungsrollen sind auf derselben Welle angebracht, die durch eine feststehende elektrische Winde bewegt wird. Das Gestell, welches die Dynamomaschine, die Reibungsrolle und das Zwischenräderwerk trägt, ist von oben an einer festen wagerechten Achse aufgehängt und ruht in seinem unteren Teile in der Mitte auf einer Federung, wie die eines Fuhrwagens, deren Enden durch Zugeisen mit dem Gerippe der Plattform verbunden sind. Man kann infolgedessen mittels der an dem Zugeisen befindlichen Schrauben die Höhe der Befestigungspunkte und somit auch den Druck der Reibungsrolle auf die »axialen« Träger regulieren. Es ist selbstverständlich, dass die Rolle, welche die langsamere Bahn in Gang setzt, einen doppelt so grossen Durchmesser hat, wie diejenige der schnelleren Bahn. Fig. 128a und b zeigt die charakteristischen Querschnitte der Pariser Ausführung.



Querschnitt der Plattform und Seitenansicht einer Winde.



Vorderansicht einer Winde.

In dieser Vorderansicht einer Winde bedeutet:

A Stillstehendes Trottoir.
B Bewegliche Plattform (kleine Geschwindigkeit).
C Räder, welche die Plattform B stützen.
D Bewegliche Plattform (grosse Geschwindigkeit).
E Räder, welche die Plattform D stützen.
F Reibungsrolle der Plattform B.
G Reibungsrolle der Plattform D.
H Welle, welche die Achse der Reibungsrolle F und G verbindet.
K Dynamo der elektrischen Winde.
L Gestell der Winde.
M Oberes Gelenk.
N Federung, die den Druck zu regulieren gestattet.
P und **Q** Träger der zwei beweglichen Plattformen.

Fig. 128 a und b.

VI.

Adhäsions-Elektrolokomotiven.

Alle Dampflokomotiven verkörpern noch heute die grundsätzlichen Anordnungen Stephensons. Erst die Anwendung der Elektrizität liess die Möglichkeit aufkommen, die technische Entwickelung in neue Wege zu leiten.

Die Dampflokomotiven besitzen bekanntlich folgende Nachteile:

1. Grosses totes Gewicht, welches zu seiner Fortbewegung Arbeit beansprucht. Das Verhältnis der toten Last zur Nutzlast wird um so ungünstiger, je weniger Wagen an die Maschine gehängt werden.

2. Die hin- und hergehenden Teile der Dampfmaschine verursachen einen ungleichförmigen Gang der Lokomotive (Schlingerbewegungen) und begrenzen dadurch ihre Geschwindigkeit.

3. Der im Kessel sparsam erzeugte Dampf wird durch die bei Lokomotiven zur Zeit allein gebräuchlichen Kulissensteuerungen schlecht ausgenutzt. Die Maschine muss sehr oft mit einer für die Belastung unvorteilhaften Umdrehungszahl laufen, weil diese unmittelbar von der Fahrgeschwindigkeit abhängig ist. Die Dampfausnutzung ist daher mangelhaft.

4. Da die Züge oft sehr verschieden stark zusammengesetzt und verschieden besetzt sind, so kann die Zugkraft der Lokomotive nur selten voll ausgenutzt werden; es muss eben vor jeden Zug, einerlei aus wie viel Wagen er besteht, eine Lokomotive gespannt werden, welche nur für eine ganz bestimmte Zugkraftleistung vorteilhaft arbeitet.

5. Die Lokomotiven verursachen durch den auspuffenden Dampf ein starkes Geräusch und hinterlassen auch Rauch und Dunst; auf den Untergrundbahnen müssen daher besondere Lüftungseinrichtungen und auf den Hochbahnen geeignete Schutzvorrichtungen gegen das Abschleudern von Öltropfen sowie gegen das Hinunterfallen von Asche und Zünderteilen auf die Strasse vorgesehen werden.

6. Der Bahnober- wie -unterbau ist nicht der Achsbelastung der leichten Wagen, sondern derjenigen der schweren Lokomotiven entsprechend auszuführen, was nicht zweckmässig ist, weil dadurch eine bei Wahl einer anderen Betriebskraft zu vermeidende Vermehrung der Baukosten eintritt.

7. Das Betriebspersonal der Lokomotiven ist, namentlich bei Zügen mit wenigen Wagen, unverhältnismässig gross; denn die

kleinste Dampflokomotive muss von zwei Personen: einem Führer und einem Heizer, bedient werden.

Wählt man Elektrizität als treibende Kraft, so fallen diese Mängel, je nachdem man Akkumulator- oder Stromleitungsbetrieb, elektrische Lokomotiven oder Motorwagen anwendet, mehr oder weniger weg.

Bei allen elektrischen Betrieben, sei es mit Lokomotiven oder Motorwagen, fallen die unter 2., 3., 5. und 7. bei den Dampflokomotiven aufgeführten Missstände fort; denn erstens besitzen die elektrischen Motoren keine hin- und hergehenden, sondern nur umlaufende Teile; zweitens wird die Betriebskraft auf stationären Centralstationen durch Dampfmaschinen mit Präzisionssteuerungen in sparsamster Weise erzeugt; drittens verursacht der elektrische Betrieb weder Geräusch noch Rauch und Dunst, und viertens vermindert sich die Zahl des Betriebspersonals um die Hälfte, da der Heizer auf der Lokomotive überflüssig wird. Was weiter die unter 1., 4. und 6. bezeichneten Nachteile der Dampflokomotiven anbetrifft, so bleiben diese, als jedem Bahnbetriebe mit Lokomotiven an und für sich anhaftend, auch bei elektrischen Lokomotiven bestehen. Jede Lokomotive muss eben diejenigen Abmessungen und folglich dasjenige Adhäsionsgewicht erhalten, welches nicht der mittleren, sondern der grössten zu erwartenden Zugleistung entspricht. Dieses tote Gewicht ist immer mitzuschleppen, und ihm entsprechend ist der Bahnoberbau auszuführen.

Die wesentlichsten Vorteile elektrisch angetriebener Lokomotiven sind demgegenüber:

1. Ausnutzung der gesamten Lokomotivlast zur Fortbewegung durch Motorachsen.
2. Nur rotierende Teile statt hin- und hergehender Massen und dadurch Schonung des Oberbaues.
3. Hoher Nutzeffekt in der Energieerzeugung und im Energieverbrauch.
4. Gewichtsersparnis bei gleichem Adhäsionsdruck und Vollausnutzung des Gewichtes zur Adhäsion.
5. Befahrung kleinerer Kurven, da die Achsen nicht starr verbunden zu sein brauchen.
6. Personalersparnis.

Die Elektrolokomotiven können demnach mit Recht in einen Konkurrenzkampf gegen ihren alten Rivalen treten und sind bereits erfolgreich zur Verwendung gelangt. Natürlich kann der Neuling nur allmählich aufkommen und muss sich zunächst die Gebiete sichern, in denen er die grössten Vorzüge besitzt, wie z. B. beim Durchschleppen von Zügen durch Tunnel, bei grösseren Steigungen und kleineren Kurven, sowie für Verschiebedienst.

Nach ihrer Bauart kann man die Elektrolokomotiven einteilen in solche,

a) welche sich die Elektrizität zur Bewegung ihrer Achsenmotoren selbst erzeugen (dieser Typus wird vertreten durch die Heilmann-Lokomotive und den Patton-Lokomotivwagen);
b) welche ihre Betriebskraft in Akkumulatorenzellen selbst oder in einem Tender aufgespeichert mitführen (die Melun-Lokomotive vertritt diese Art);
c) welche den Strom aus direkten (Oberleitungen oder Niveauleitungen) Fahrleitungen entnehmen, und dies ist die häufigere Verwendung.

1. Berechnung der Gewichte, Zugkraft und Leistung.

Ehe wir zu den einzelnen Lokomotivarten übergehen, mögen hier einige kurze Formeln Platz finden, welche die in Betracht kommenden Verhältnisse übersehen lassen. Bei Berechnung der Gewichte, Zugkraft und Leistung von Adhäsions-Lokomotiven bedeutet:

Q = Gewicht sämtlicher beladener Wagen in *t*;
P = Gewicht der Lokomotive in *t*;
L = Leistung der Lokomotive in PS;
z = Zugkraft der Lokomotive in *kg*;
w = Bahnwiderstand auf der Horizontalen in *kg/t*;
$\frac{1}{n}$ = Steigungsverhältnis;
W = Bahnwiderstand auf der Steigung in *kg/t* . . $W = w + 1000 \frac{1}{n}$;
V = Geschwindigkeit in *km*/Std.;
v = Geschwindigkeit in *m*/Sek. . . . . $v = \frac{V}{3{,}6}$;
α = Nutzeffekt der Lokomotive;
f = Verhältnis des Lokomotivgewichtes zur Zugkraft . . . $\frac{1000\ P}{z}$.

$$z = \frac{1000\ P}{f} = W \cdot (Q + P);$$

$$1000\ P = f \cdot W \cdot (Q + P) = f \cdot W \cdot Q + f \cdot W \cdot P;$$

$$1000\ P - f \cdot W \cdot P = f \cdot W \cdot Q; \quad P\ (1000 - f \cdot W) = f \cdot W \cdot Q;$$

$$P = \frac{f \cdot W \cdot Q}{1000 - f \cdot W};$$

$$z = \frac{1000\ P}{f} = \frac{1000 \frac{f \cdot W \cdot Q}{1000 - f \cdot W}}{f} = \frac{1000}{f} \cdot \frac{f \cdot W \cdot Q}{1000 - f \cdot W} =$$

$$= \frac{1000 \cdot W \cdot Q}{1000 - f \cdot W};$$

$$L = z \cdot v \cdot \frac{1}{75} \cdot \frac{1}{a} = \frac{1000 \cdot W \cdot Q}{1000 - f \cdot W} \cdot \frac{V}{3{,}6} \cdot \frac{1}{75} \cdot \frac{1}{a} = \frac{1000}{270} \cdot \frac{V \cdot W \cdot Q}{a\,(1000 - f \cdot W)};$$

$$L = 3{,}7 \cdot \frac{V \cdot W \cdot Q}{a\,(1000 - f \cdot W)}.$$

Für die Berechnung der spezifischen Zugkraft bezw. des Bahnwiderstandes W kommen in Betracht:

1. die Widerstände für die gerade horizontale Strecke:
   a) Achsschenkelreibung,
   b) rollende Reibung,
   c) Unebenheiten der Bahn,
   d) Luftwiderstand;
2. die Widerstände in Kurven;
3. die Widerstände auf Steigungen.

Die Verhältnisse beim elektrischen Motorenbetrieb, woselbst nur rotierende Bewegungen auftreten, entsprechen mehr den Erscheinungen an den Wagen, als denen der Dampf-Lokomotiven. Die Zugkraft der Dampf-Lokomotiven allein steht bekanntlich im ungünstigen Verhältnis zu der Zugkraft eines ganzen Zuges.

Die Zugkraft eines Dampfzuges mittlerer Länge einschliesslich Lokomotive und Tender ist nach einer empirischen Formel von Clark-Grove:

1) $z_1 = 2{,}25 + \frac{v^2}{80} \pm 1000\,i$ bei günstigen Verhältnissen. Hierin ist v die Geschwindigkeit in *m*/Sek. und i das Steigungsverhältnis.

Die Zugkraft eines Zuges ohne Lokomotive ist nach einer Meyerschen Formel:

2) $z_2 = 1{,}5 + 0{,}001 \cdot V^2 \pm 1000\,i$. Hierin bedeutet aber V die Geschwindigkeit in *km*/Std.

Nehmen wir nun an, dass die spezifische Zugkraft z_3 bei elektrischem Motorenbetrieb zwischen z_1 und z_2 liegt, was sicherlich nicht zu günstig gerechnet ist, so ergiebt sich:

$$z_3 = \frac{z_1 + z_2}{2}.$$

$$2\,z_3 = z_1 + z_2 = 2{,}25 + \frac{v^2}{80} \pm 1000\,i + 1{,}5 + 0{,}001 \cdot V^2 \pm 1000\,i,$$

und bei einer angenommenen mittleren Geschwindigkeit von 80 *km*/Std. $= \frac{80}{3{,}6}$ *m*/Sek.:

$$2\,z_3 = 2{,}25 + \frac{\left(\frac{80}{3{,}6}\right)^2}{80} \pm 1000\,i + 1{,}5 + 0{,}001 \cdot 80^2 \pm 1000\,i =$$
$$= 2{,}25 + 6{,}2 \pm 1000\,i + 1{,}5 + 0{,}001 \cdot 6400 \pm 1000\,i =$$
$$= 8{,}45 + 1{,}5 + 6{,}4 \pm 2000\,i$$
$$= 16{,}35 \pm 2000\,i.$$

3) $z_3 = 8{,}175 \pm 1000\,i$ *kg* für die Tonne.

Bei allen diesen Voraussetzungen sind günstige Verhältnisse angenommen (schwere Züge über 100 Tonnen, gut unterhaltene Wagen und Bahn, Kurven mit grossem Radius, schwacher Wind).

Für ungünstige Verhältnisse gilt für die Formel 1):

$$z_1 = 4 + \frac{v^2}{50} \pm 1000\, i.$$

Über die wahren Zugkraftverhältnisse sind genaue Messungen, wie dieselben für Dampflokomotiven vorliegen, noch nicht veröffentlicht, vielleicht auch noch nicht gemacht worden, daher dürfen die obigen Annahmen als Annäherungswerte angesehen werden.

2. Magnetische Adhäsionsvermehrung.

Es liegt begreiflicherweise sehr nahe, die Vergrösserung der Gleisfriktion durch Magnetisierung der Lokomotivräder zu erstreben.

So benutzt z. B. die Baltimore- und Ohio-Eisenbahn — welche auf ihrer Strecke Camden-Baltimore im Howard-Tunnel gemischten Betrieb eingeführt hat, um die Personenzüge durchweg mittels elektrischer Lokomotive, die Güterzüge hingegen mit einer Dampflokomotive als Zugmaschine und einer elektrischen Lokomotive als Nachschiebemaschine zu befördern — an einer grösseren Zahl ihrer Dampflokomotiven elektrischen Strom ausschliesslich zu dem Zwecke, die Friktion zwischen den Lokomotivrädern und den Eisenbahnschienen zu vermehren und sonach das Räderschleifen zu vermeiden, beziehungsweise das Sandstreuen zu ersparen. Zu diesem Zwecke befindet sich auf der Lokomotive eine kleine Dynamomaschine, die nur im Bedarfsfalle mit Hilfe eines besonderen Antriebes in Thätigkeit gesetzt wird und deren Strom keine weitere Aufgabe hat, als die Lokomotivräder zu magnetisieren. Nach den hier gewonnenen Erfahrungen vermag eine mit dieser Einrichtung versehene Lokomotive jeden schweren Güterzug auf den Gebirgsstrecken genannter Bahn mit Steigungen von 1 : 40 auch bei feuchtglatten Schienen zu befördern.

Die Idee einer solchen Friktionsvermehrung ist schon 1883[1]) von Arthur Wilke angegeben worden. Eine neuere Konstruktion ist von der Union Elektrizitäts-Gesellschaft angegeben worden, nach welcher auf die Achsen lose Magnetspulen geschoben werden, deren Wickelungen gleichzeitig die Vorschaltwiderstände bilden. Beim Anfahren, wofür die grösste Adhäsion gebraucht wird, ist demnach auch die Magnetisierung am grössten, während bei der Fahrt die Widerstände ausgeschaltet sind und die Reibung am geringsten sein kann.

Die Lokomotiven, welche sich ihre Betriebskraft selbst erzeugen, werden an Hand ausgeführter Maschinen charakterisiert.

[1]) Vergl. Internationale Zeitschrift f. d. El.-Ausstellung Wien 1883, S. 46.

3. Die Heilmann-Lokomotive.

Den Franzosen gebührt die Ehre, durch ihre Heilmann-Lokomotive einen zeitlichen Vorsprung in der Anwendung der Elektrotechnik für Fernbahnen gewonnen zu haben. Das hier zur Durchführung gebrachte System, vergleichbar mit einer fahrenden elektrischen Kraftstation, ist bereits überwunden und hatte betreffs der Anschaffungs- und Betriebskosten einen sehr schweren Stand. Es dürfte wohl nur als ein geeignetes Übergangsstadium zwischen dem alten und dem neuen Lokomotivsystem zu betrachten sein, weil es einen Teil der alten Nachteile (Kohlen- und Wassermitnahme, mangelhafte Wärmeausnutzung u. dergl.) und anderseits die meisten genannten Vorteile umfasst.

Die erst im Jahre 1894 nach den Konstruktionen von J. J. Heilmann bei der Société Industrielle de Moteurs Electriques et à vapeur gemeinsam mit Brown, Boveri & Co. gebaute Lokomotive ist in Fig. 129 und 130 dargestellt und lief auf der Westbahnstrecke Paris—Havre Probe. Sie enthält in ihrer Generatoranlage einen Kessel Lentz'scher Bauart, eine liegende zweicylindrige Verbund-Dampfmaschine von 600 PS bei 300 Umdrehung-Minuten, eine Aussenpol-Dynamomaschine für Gleichstrom von 400 Volt Spannung und eine besondere Erreger-Dampfdynamo für 50 Volt Spannung. Diese sämtlichen Teile ruhen auf einem gemeinsamen Rahmen, der von zwei Stück vierachsigen Drehgestellen getragen wird. Jede dieser acht Achsen besitzt einen Gleichstrom-Elektromotor. Das ganze Fahrzeug ist mit einem Wagenkasten überdeckt und vermeidet so das äussere Ansehen einer Lokomotive.

Die Lokomotive vermochte bei einer Geschwindigkeit von 90 bis 100 *km* in der Stunde einen Zug von 70—80 *t* zu ziehen. Die mit dieser Lokomotive angestellten Versuche, bei denen dieselbe etwa 2000 *km* zurücklegte, ergaben zufriedenstellende Resultate, sodass die Westbahngesellschaft sich entschloss, einen Versuch in grösserem Massstabe auszuführen. Auf ihre Veranlassung wurden zwei neue Lokomotiven von grösserer Leistungsfähigkeit gebaut, die im allgemeinen dieselbe Disposition wie die frühere zeigen, im einzelnen aber einige Verbesserungen aufweisen, wie sie durch die früheren Versuche an die Hand gegeben worden waren.

An Stelle des Lentz'schen Kessels wurde bei den neuen Lokomotiven ein gewöhnlicher Lokomotivkessel angewandt, dessen Abmessungen folgende sind:

Heizfläche des Feuerraumes	16,47 *qm*
» der Röhren	169,— »
Anzahl der Röhren	351

Länge der Röhren	3,80 *m*
Rostfläche	3,34 *qm*
Dampfdruck	14 Atm.

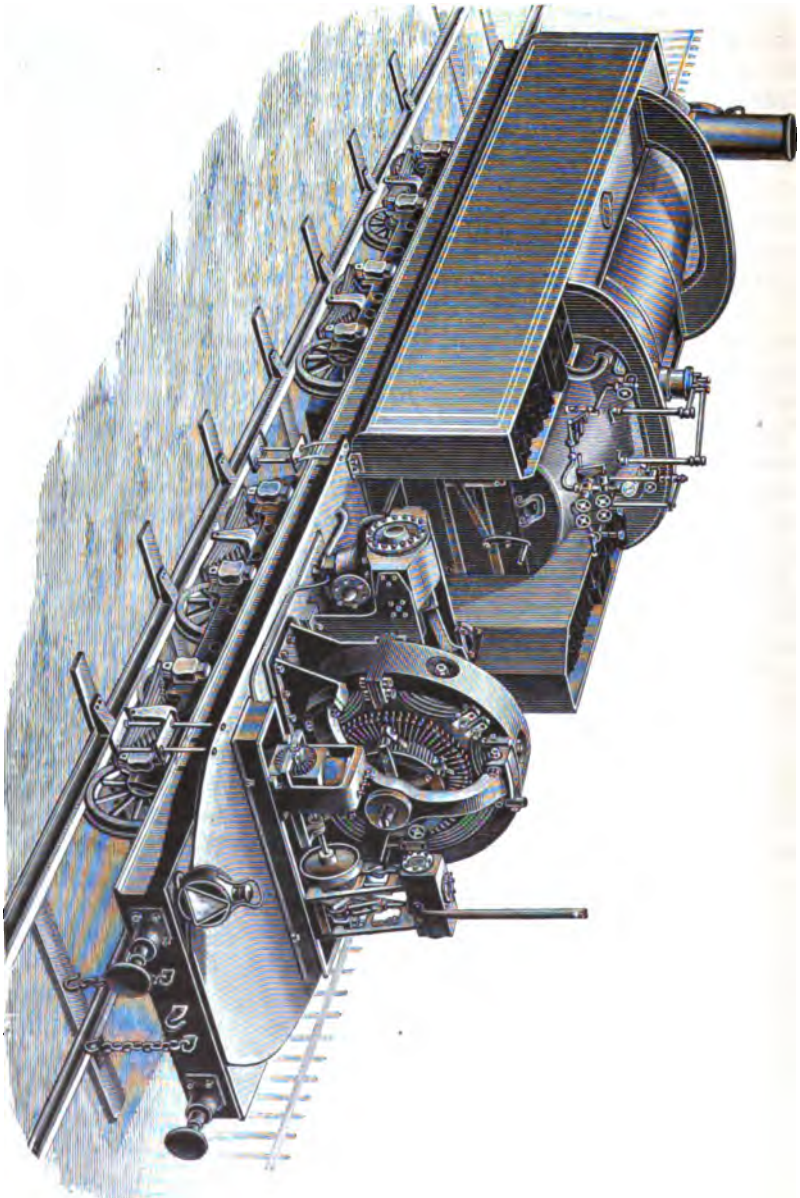


Fig. 129.

Die Speisung der Kessel erfolgt durch zwei Friedmann'sche Injektoren.

Die Hauptdampfmaschine ist eine Willans-Maschine mit sechs Kurbeln. Diese von den Herren Mark Robinson und N. Mazen zugleich vorgeschlagene Anordnung wurde gewählt, um vollkommenes

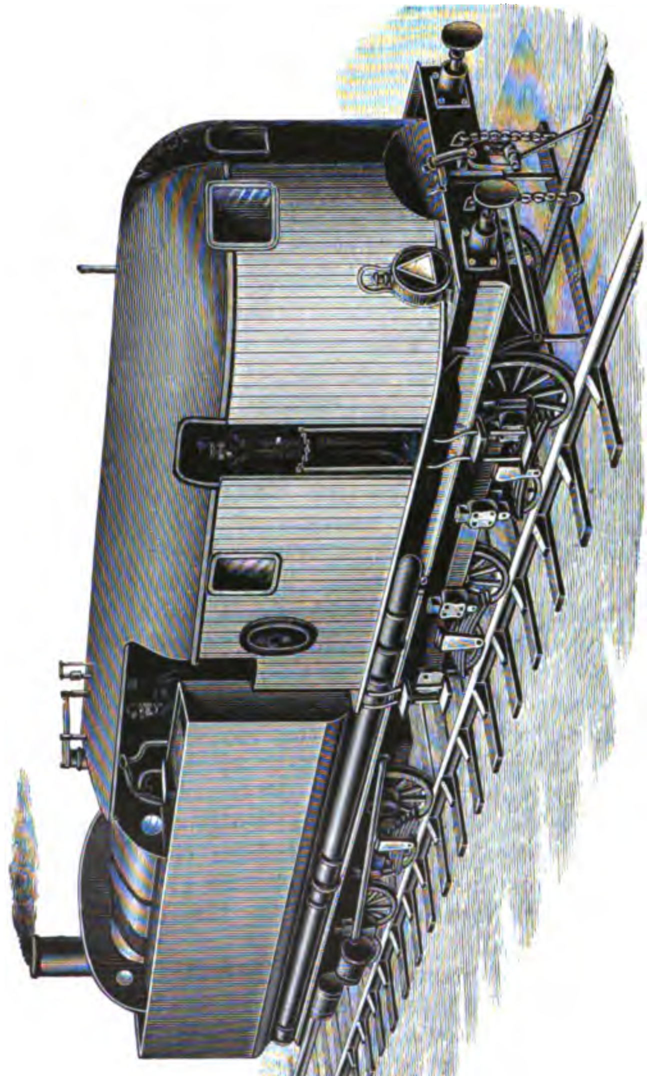


Fig. 130.

Gleichgewicht der beweglichen Teile zu erhalten. Bei einer Maschine mit drei Kurbeln, die um 120° verstellt sind, ist nämlich zwar die Summe der von der Trägheit der hin- und hergehenden Massen, Kolben, Kolbenstangen, Triebstangen u. s. w. herrührenden vertikalen Kraftkomponenten in jedem Augenblicke Null, es besteht jedoch ein Kräftepaar, da die drei Kräfte nach verschiedenen Richtungen wirken. Man kann aber dieses Kräftepaar aufheben, wenn man neben die erste Maschine eine zweite genau gleiche Maschine von umgekehrter Anordnung setzt, welche ein gleiches, aber dem ersteren entgegengesetzt gerichtetes Kräftepaar besitzt. Die sechs Kurbeln sind dann in folgender Weise verstellt: 0°, 120°, 240°, 240°, 120°, 0°. Die von der Firma Willans & Robinson erbaute, einfach wirkende Dampfmaschine unterscheidet sich im wesentlichen nicht von einer gewöhnlichen Willans-Maschine. Nur die Dampfverteilung erfolgt nicht durch einen centralen Schieber, sondern durch drei seitlich angeordnete cylindrische Schieber, die von einer besonderen Welle bethätigt werden, und ihrerseits wieder von der Hauptwelle durch Zahnräder angetrieben wird. Die Hauptelemente der Maschine sind: Indicierte Leistung 1350 PS, Geschwindigkeit 400 Umdrehungen in der Minute, Durchmesser der Hochdruckcylinder 300 *mm*, der Niederdruckcylinder 480 *mm*, gemeinsamer Hub 400 *mm*.

Mit dieser Dampfmaschine sind zwei sechspolige Gleichstromdynamomaschinen von der Firma Brown, Boveri & Co. mit einer Leistung von 910 Ampère bei 450 Volt direkt gekuppelt, und zwar an jedem Ende eine, deren Anker als Schwungräder für erstere wirken. Die Maschinen, welche Feldmagnete aus Stahlguss und einen gezahnten Trommelanker haben, besitzen Kohlenbürsten und sind, von einigen Ventilationsöffnungen abgesehen, vollständig geschlossen; die Dynamos sind beide parallel geschaltet und werden, ebenfalls in Parallelschaltung, von einer Nebenschlussdynamo erregt, die durch eine besondere zweicylindrige Willans-Dampfmaschine mit 550 Umdrehungen in der Minute betrieben wird. Die vierpolige Erregermaschine hat ebenfalls Feldmagnete aus Stahlguss und einen gezahnten Trommelanker. Dieselbe leistet 140 Ampère bei 110 Volt. Da die Erregung der Stromerzeuger nur höchstens 100 Ampère erfordert, so bleibt ein Überschuss an Strom, der für die Beleuchtung des Zuges verwendet wird.

Die Motoren sind vierpolig und vollständig abgeschlossen; ihr Anker, ein genuteter Trommelanker, ist auf eine hohle, die Radachse konzentrisch umgebende Welle derart aufgekeilt, dass die Radachse den Unebenheiten des Gleises nachgeben kann, ohne den Anker im mindesten in Mitleidenschaft zu ziehen. Der Antrieb der Radachse durch jene hohle Welle geschieht durch Vermittelung dreier doppelter,

Iaschine
war die
Massen,
rtikalen
och ein
wirken.
en die
kehrten
gegen-
! dann
ie von
ampf-
wöhn-
nicht
an-
Welle
lurch
sind:
ngen
der

rom-
einer
war
tere
nen
nd,
en;
in
ch
m-
er-
en
ie
t,
s

r
e

um je 120° verstellter Federn aus Stahl, die zwischen den Speichen eines der Räder liegen. Das Gehäuse des Motors besteht aus vier Teilen. Der untere Teil trägt die beiden Klammern, mit denen der Motor an dem Rahmen des Untergestells befestigt ist, und ferner die beiden Lager, in denen sich die hohle Welle dreht. Diese Lager sind mit einer automatischen Schmiervorrichtung versehen. Die beiden Seitenteile tragen die Magnetspulen und durch den oberen Teil wird das Ganze abgedeckt. Die (Serien-)Wickelung der Feldmagnete besteht aus einem Kupferbande, das in zwei Teilen auf jeden der Kerne aufgewickelt ist.

Die Lokomotive, wie sie durch Fig. 131a in photographischem und in den Fig. 131b und 131c in zeichnerischem Bilde dargestellt ist, kann von zwei verschiedenen Stellen aus, je nach der Fahrtrichtung, geschaltet werden; die eine dieser Stellen befindet sich vorn, die andere in der Nähe der Vorderfront des Kessels. Jede derselben ist ausser den gewöhnlichen Apparaten zur Bethätigung der Bremse, Pfeife u. dergl. mit einem doppelten Anlasswiderstand und einem Stellrad für den Geschwindigkeitsregulator der Dampfmaschine versehen. Das Schaltbrett befindet sich zwischen den beiden Stellen an einer Wand der Schutzwehr. Unten an dem Schaltbrett ist der Umsteuerungsapparat angebracht; die Umsteuerung geschieht durch Umkehrung der Verbindungen der Motorenanker.

Die gesamte Stromerzeugungseinrichtung wird von einem Stahlrahmen getragen, der auf zwei Untergestellen mit vier Radachsen ruht. Ein spitz zulaufender Kasten aus Eisenblech schliesst die Lokomotive nach vorn ab. Die Abmessungen der letzteren sind:

Länge zwischen den Puffern	18,59 *m*
Gesamtlänge des Wagenkastens	15,40 »
Länge eines Untergestells	4,10 »
Durchmesser der Räder	1,16 »

Weitere Einzelheiten sind enthalten in ETZ 1898, Heft 4, S. 65 ff. und im Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens (Heusinger v. Waldeck, v. Borries, Alb. Frank & Barkhausen).

Mit einer dieser Lokomotiven sind am 12. November 1897 die ersten Probefahrten auf der französischen Westbahn zwischen Paris und Nantes gemacht worden.[1]) Der Zug bestand aus zwölf Durchgangswagen von 150 *t* Gewicht und einem Dynamometerwagen. Die Strecke ist 115,5 *km* lang und wurde ohne Aufenthalt mit einer Geschwindigkeit von 30 *km*/Std. zurückgelegt. Diese geringe Geschwindigkeit war von der Eisenbahngesellschaft vorgeschrieben worden; später wurde die Schnelligkeit und das Zuggewicht nach

[1]) The Engineer, 19. November 1897, S. 505.

und nach gesteigert, erstere bis zu 120 *km* / Std. Die erste Fahrt vollzog sich nach Vorschrift; zuweilen mussten die Bremsen angezogen werden, um die Geschwindigkeit innezuhalten. Auch auf der Rückfahrt nach Paris, während welcher auf einer Zwischenstation 20 Minuten lang angehalten wurde, um Wasser einzunehmen, wurde die vorgeschriebene Fahrzeit nicht überschritten. Der günstige Erfolg der Probefahrten hat die Direktion der französischen Westbahn zur Anschaffung einer Anzahl derartiger Maschinen veranlasst, welche zur Zeit der Pariser Weltausstellung im Jahre 1900 auf der Linie Paris—Havre zwischen Paris und der Westküste in Dienst gestellt wurden. Besonders wird hervorgehoben, dass die Lokomotive ohne Erschütterungen lief. Nach Abschluss der Versuchsfahrten hat die Westbahn die beiden Lokomotiven in den regelmässigen Betrieb eingestellt. Die Gesellschaft, welche die Ausführung der Heilmann'schen Konstruktionen übernommen hat, begegnet dem Einwurf, die elektrischen Lokomotiven seien zu teuer, dadurch, dass sie diese an die Eisenbahngesellschaften zu einem geringeren Preise zu vermieten beabsichtigte, als die Betriebskosten gewöhnlicher Lokomotiven betragen. Dabei will sie für grössere Geschwindigkeiten Gewähr leisten.

In Amerika stand man nach den ersten Versuchen mit den Heilmann'schen Lokomotiven im Begriff, ähnliche Konstruktionen zu verwenden, trotzdem ein amerikanischer Fachmann in der Railroad Gazette das folgende abfällige, in diesem Umfange indess nicht zutreffende Urteil abgab:

»Sie vereinigt in sich alle Teile und Nachteile einer Dampflokomotive, einer feststehenden elektrischen Anlage und eines elektrischen Strassenbahnwagens, ohne die Vorteile eines dieser Verkehrsmittel aufzuweisen. Sie ist theoretisch falsch, praktisch zu schwer und verwickelt.«[1]) Wie Engineering News[2]) mitteilt, soll für die neue, rund 145 *km* lange Strecke Madison—Cincinnati der Ohio River, Madison and Central Electric Railway eine neue Lokomotive gebaut werden. Dieselbe soll vorn ein zweiachsiges Drehgestell mit Rädern von 1980 *mm* Durchmesser und hinten ein dreiachsiges Drehgestell mit Rädern von 1220 *mm* Durchmesser erhalten; ihre Länge soll rund 13,7 *m* betragen. Auf dem hinteren Gestell baut sich der Kohlen- und Wasserbehälter auf; in der Mitte wird der Lokomotivkessel seine Aufstellung finden, während vorn eine Westinghouse-Dampfmaschine, mit zwei Dynamos von je 400 PS gekuppelt, stehen soll. Auf den Achsen des vorderen Drehgestelles sollen die Anker

---

[1]) Nach Glasers Annalen 1. Januar 1896, S. 4; vergl. Z. d. V. d. Ing. 1895, S. 1278.

[2]) 12. März 1896, S. 166.

der beiden 350pferdigen Elektromotoren sitzen. Zur Reserve beabsichtigt man, auf dem dreiachsigen Drehgestell einen 200pferdigen Motor anzubringen, der mit einer der Achsen gekuppelt werden kann. Schliesslich soll noch eine Akkumulatorenbatterie aufgestellt werden, um für den Notfall die Lokomotive auf ein Seitengleis zu bringen. Wie man erkennt, wird die Bauart der neuen Lokomotive noch verwickelter werden als die der Heilmann'schen.

Näheres über die Ausführung dieser Lokomotiven ist noch nicht veröffentlicht worden.

Einige Vorteile der Heilmann'schen Bauart sind bisher noch nicht genügend gewürdigt worden und seien daher noch ergänzend angefügt.

Beim Dampflokomotivbetrieb liegt es in der Natur der Sache, die Lokomotive stets an der Spitze des Zuges zu haben. Der Rauch, welcher in beträchtlicher Menge dem Schornstein entströmt, macht sich sehr unangenehm sowohl im Betriebe als auch im Wohlbehagen des Reisenden bemerkbar, Rauch und Dampf vernichten in sehr kurzer Zeit den Anstrich der Wagen, machen dieselben unansehnlich und erfordern im Interesse der Haltbarkeit der Wagenbekleidungen ein häufiges Erneuern der Lackierung. In gleichem Masse leiden die inneren Einrichtungen der Betriebsmittel und man kann wahrlich nicht sagen, dass eine Eisenbahnfahrt in Bezug auf Atmung frischer Luft und Reinerhaltung der Garderobe zu den Annehmlichkeiten zählt. Der von der Bahn aufgewirbelte Staub kommt wenig zur Geltung und lässt sich eben auch niemals beseitigen, dagegen bietet die Heilmann'sche Lokomotive ein Mittel, das erstere grössere Übel ganz zu beseitigen, wenn diejenige Anordnung gewählt wird, welche dem zweiten Stadium ihrer voraussichtlichen Entwickelung entspricht.

Vorläufig ersetzt die Heilmann'sche Lokomotive die Dampflokomotive an der Spitze des Zuges und nutzt nur die eigene Adhäsion aus. Das zweite Stadium kann dasjenige sein, wobei die Lokomotive den Strom für sämtliche oder wenigstens für mehrere Achsen des Zuges erzeugen wird, weil dieselben mit Motoren versehen werden. Abgesehen davon, dass alsdann das Gewicht des ganzen oder des grösseren Teiles des Zuges ausgenutzt und somit die Befahrung grösserer Steigungen ermöglicht wird, ist es angängig, die stromerzeugende Lokomotive dem Zuge hinten anzuhängen. Dadurch wird erreicht, dass jede Belästigung durch Rauch und Dampf wegfällt, weil der Schornstein am hintersten Zugende seine vorher besprochenen unangenehmen Wirkungen verliert. Der Zugführer muss natürlich seinen Stand im vordersten, mit geeigneter Querwand versehenen Wagen erhalten, was auf die gesamte Disposition keinen Einfluss ausübt.

4. Patton-Lokomotivwagen.

Der Amerikaner Patton hat nach langjährigen Versuchen eine elektrische Lokomotive gebaut, deren Prinzip als eine Kombination des Heilmann-Systems mit dem Akkumulatorensystem bezeichnet werden kann, allerdings mit dem Unterschied, dass nicht Dampf-, sondern Gaskraft zur Stromerzeugung verwendet wird. Die ersten Versuche datieren in das Jahr 1891 zurück und beschränkten sich zunächst nur auf die Verwendung einer Gasmaschine zum Antrieb. Patton sah jedoch sehr bald, dass bei der Veränderlichkeit der Zugkraft und der Notwendigkeit, gelegentlich rückwärts fahren zu müssen, zwischen der Gasmaschine und den Radachsen ein elastisches Zwischenglied eingeschaltet werden muss, welches womöglich auch eine Aufspeicherung der Arbeit, also einen Ausgleich in der Arbeitsleistung der Gasmaschine gestatten soll. Er kam so auf die auch von Heilmann angewendete elektrische Kraftübertragung und auf die Verwendung von Akkumulatoren. Im Jahre 1892 machte er zur Ausführung dieser Idee Versuche in kleinem Massstabe; die erste verwendbare Lokomotive wurde jedoch erst 1897 in Betrieb genommen und beim Bau einer Vorortbahn in Chicago verwendet. Diese Lokomotive wiegt 11000 *kg* und enthält einen Benzinmotor von 18 PS, der mit einer Dynamomaschine direkt gekuppelt war, eine Batterie von 92 Zellen und 150 Ampèrestunden Kapazität und einen Bahnmotor von 35 PS. Die Batterie wird bei Stillstand oder bei Fahrt zur Zeit geringen Kraftbedarfs geladen und unterstützt durch ihre Entladung den Generator, sobald der Kraftbedarf die Leistung des Benzinmotors übersteigt. Der Generator hat Nebenschlusserregung und infolgedessen regulierte sich das System automatisch. Die täglichen Betriebskosten dieser Lokomotive sollen nur 12 ℳ, statt 65 ℳ, der früher für denselben Zweck verwendeten Dampflokomotive gewesen sein. Bei der betreffenden Dampflokomotive musste nämlich Anthracit gefeuert werden und waren zwei Mann Bedienungspersonal erforderlich. In einer zweiten Patton-Lokomotive ist ein 25 PS Raymond-Gasolinmotor verwendet, mit welchem eine 15 Kilowatt 220 Volt Crocker-Wheeler-Nebenschluss-Dynamomaschine direkt gekuppelt ist. Die Batterie besteht aus 100 Zellen von 200 Ampèrestunden Kapazität. Die beiden Achsen werden je von einem 25 PS Motor mit einfacher Räderübersetzung angetrieben. Auf dem Dach des Gefährtes befindet sich ein Behälter für 110 *l* Gasolin und ein zweiter für 330 *l* Kühlwasser. Das Wasser cirkuliert automatisch durch ein System von Kühlröhren, und es ist durch entsprechende Anschlussstücke Vorsorge getroffen, um die Cirkulation durch Röhren in die Anhängewagen zum Zweck ihrer Heizung auszudehnen.

Dieser Lokomotivwagen, der in Fig. 132 bildlich und in Fig. 133 schematisch dargestellt ist, ist selbstverständlich nicht berufen, einen

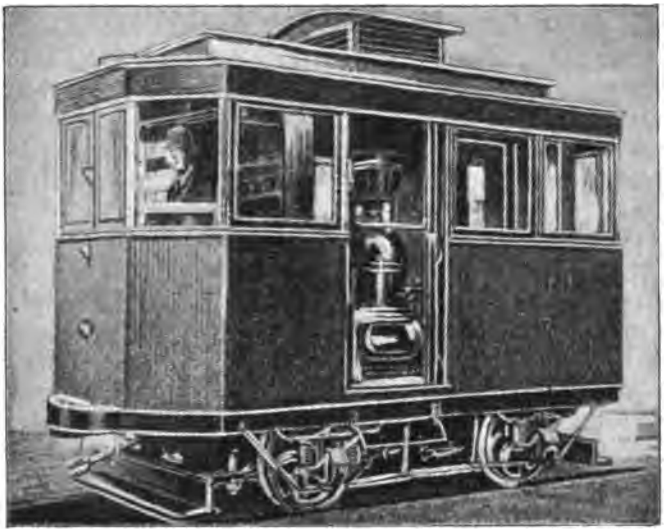


Fig. 132.

Motorwagen mit direkter Stromzuführung zu ersetzen oder auch nur annähernd mit diesem in Konkurrenz zu treten.[1]) Er kann dagegen

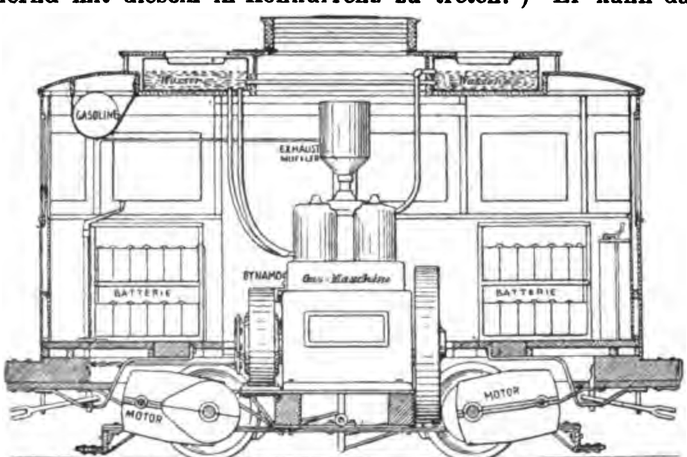


Fig. 133.

sehr wohl seine Stelle ausfüllen, wenn es sich darum handelt, lange

[1]) Vergl. auch Ill. Zeitschr. f. Kl.- u. Str.-B. 1898, Heft 9, S. 359.

Linien mit geringer Frequenz zu bedienen. Die Nachteile des reinen Gasmotorwagens besitzt der Patton-Wagen nicht.

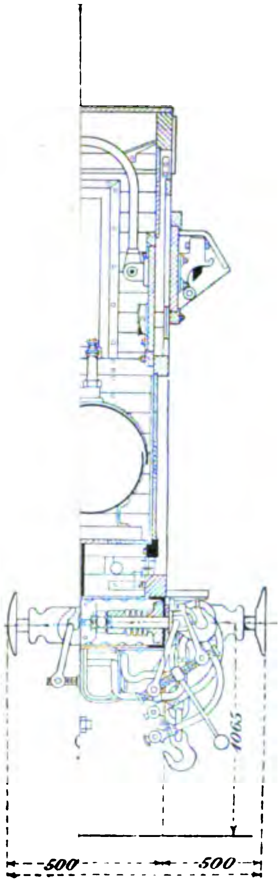
5. Akkumulatoren-Lokomotive.

Zu den Lokomotiven, die ihre Arbeitsaufspeicherung in Akkumulatoren mit sich führen, gehört die nachfolgende, zwischen Paris und Melun fahrende Lokomotive. Dieselbe soll den Betriebsführern durch die Praxis ein Bild von der Möglichkeit entrollen, allmählich den elektrischen Betrieb auf den Vollbahnen einzuführen.[1])

Da man zu diesem Zwecke die hohen Kosten einer Stromzuführung längs der Bahn vermeiden wollte, wurden die Motoren der Lokomotive durch Akkumulatoren gespeist, die zum geringen Teil auf der Lokomotive selbst, zum grösseren Teil jedoch in einem besonderen Wagen untergebracht sind. Die Lokomotive (Fig. 134a, b und c) ruht auf drei Achsen, von denen die beiden hinteren durch Elektromotoren angetrieben werden, deren Anker unmittelbar auf den Achsen sitzen. Die Motoren sind symmetrisch zur Längsachse der Lokomotive gebaut, mit zwei Kollektoren versehen, und die Magnetpole sind derartig angeordnet, dass sie stets centrisch zur Achse bleiben. Auf ihrem hinteren Teile trägt die Plattform der Lokomotive einen Wagenkasten, der dem Führer und seinem Gehilfen zum Aufenthalt dient und die Handgriffe und Messgeräte enthält. Die Aufbauten auf dem vorderen Teile sind nur 1,3 *m* hoch, damit der Führer bequem darüber hinwegsehen kann. In der Mitte befindet sich ein Anlasswiderstand in Form eines isoliert aufgestellten rechteckigen Kastens aus Eisenblech von etwa 2 *cbm* Inhalt, in den 20 Bleiplatten hineingehängt sind. Der Kasten steht durch zwei Röhren mit einem ebenfalls isolierten Behälter in Verbindung, der unterhalb der Plattform aufgehängt ist und eine schwache Lösung von kohlensaurem Natron enthält. Soll der Anlasswiderstand in Thätigkeit treten, so lässt der Lokomotivführer mittels des Dreiweghahnes d und eines Einlasshahnes e aus einem Druckluftbehälter Luft in den cylindrischen Behälter unterhalb der Plattform treten, wodurch die Flüssigkeit in den oberen viereckigen Kasten gedrückt wird. Lässt man die Druckluft entweichen, so fliesst das Wasser wieder zurück und der Anlasswiderstand wird ausgeschaltet. Dieser Vorgang muss eintreten, sobald die Zugwiderstände zu gross werden oder aus irgend einem anderen Grunde die Beanspruchung der Akkumulatoren zu sehr steigt. Zur Sicherheit hat man eine selbstthätige Auslösung vorgesehen, durch die das Luftaustrittventil geöffnet wird, wenn

---

[1]) Revue générale des chemins de fer. Nov. 1898, S. 331; Z. d. V. d. Ing. 1898, Heft 52, Seite 1453 ff.



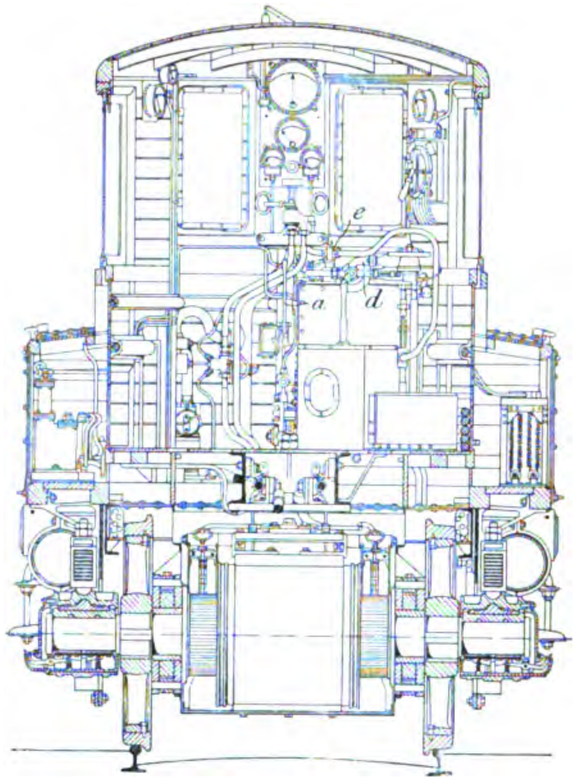
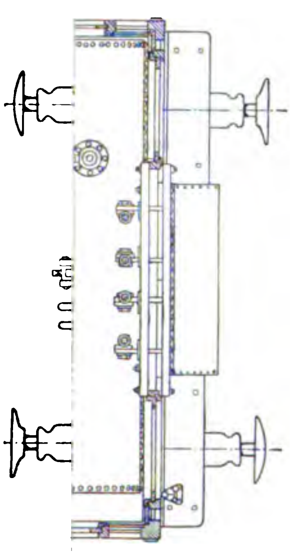


Fig. 134 c.



Oskar Leiner.

die Stromstärke in einem der beiden von den Akkumulatoren kommenden Leitern 1200 Ampère übersteigt. In die Leitung sind nämlich Unterbrecher g, g eingeschaltet, durch welche Elektromagnete bethätigt werden, deren Anker mit dem Auslassventil verbunden sind.

Zu beiden Seiten des Flüssigkeitswiderstandes sind je neunzig Fulmen-Akkumulatorenelemente untergebracht, deren Elektroden in durchlöcherten Überzügen von Celluloid stecken. Die übrigen Akkumulatoren, und zwar zwei Batterien von je 96 Elementen, befinden sich, wie bereits erwähnt, in einem besonderen Wagen, der auf vier Achsen ruht und einschliesslich der Akkumulatoren 45800 *kg* wiegt, d. i. 1300 *kg* mehr als die Lokomotive. Die Kapazität der Elemente auf dem Beiwagen beträgt 1000 Ampèrestunden, die der Elemente auf der Lokomotive 1500 Ampèrestunden bei einer Entladestromstärke von 500 Ampère.

Ganz vorn im abgeschrägten Teile des Aufbaues auf der Lokomotive ist ein Kompressor untergebracht, der von einem fünfpferdigen Elektromotor angetrieben wird und die Druckluft für die Westinghouse-Bremse, die Pfeife und mehrere elektrische Reguliervorrichtungen liefert. Zu den letzteren gehört ausser der bereits beschriebenen Anlassvorrichtung die Steuereinrichtung der Lokomotive. Zum Umkehren des Erregerstromes dienen nämlich Quecksilberkommutatoren, die aus zwei miteinander verbundenen Cylindern bestehen, in denen sich federbelastete Kolben bewegen. Je nachdem man hinter den einen oder den anderen Kolben Druckluft treten lässt, wird das Quecksilber mit dem auf ihm ruhenden Kolben gehoben. Zum Öffnen der entsprechenden Druckluftventile dient der Handhebel a.

Von den anderen Vorrichtungen ist der Umschalter b zu nennen, mittels dessen die nach den Elektromotoren führende Leitung entweder mit den Akkumulatoren auf der Lokomotive oder mit denen des Beiwagens verbunden wird. Ein zweiter Umschalter wird durch den Hebel c bethätigt; er dient dazu, die Akkumulatoren und Motoren in verschiedener Weise zu schalten, und zwar werden entweder die beiden Batterien des Wagens parallel und die Motoren in Reihe oder Batterien und Motoren hintereinander oder endlich die Batterien in Reihe und die Motoren parallel geschaltet. Die einzelnen Steuereinrichtungen sind durch Verriegelungen voneinander abhängig gemacht.

An Messgeräten sind vorhanden: je ein Strommesser für den gesamten durch die Anker der Motoren gehenden Strom, den Erregerstrom und den zum Antrieb des Kompressors verbrauchten Strom, ferner ein Spannungsmesser für die Klemmenspannung der Motoren, einer für die Batterie auf der Lokomotive und zwei für die Akkumulatoren des Beiwagens.

Die Thätigkeit des Führers und seines Gehilfen beim Betrieb der elektrischen Lokomotive ist folgende. Er hat vor der Abfahrt den Kompressor in Betrieb zu setzen, bis die Luftspannung im Behälter 6—7*kg*/*qcm* beträgt, und während der Fahrt muss dieser Luftdruck aufrecht erhalten werden. Beim Abfahren sind zuerst durch den Umschalter b die Batterien auf der Lokomotive oder auf dem Beiwagen einzurücken; der Steuerhebel a ist auf Vorwärts- oder Rückwärtsgang zu stellen und dann sind mittels des Umschalters c die Batterien und Motoren so zu schalten, wie es die gewünschte Geschwindigkeit verlangt. Schliesslich wird der Anlasswiderstand durch Öffnen der Hähne d und e eingeschaltet.

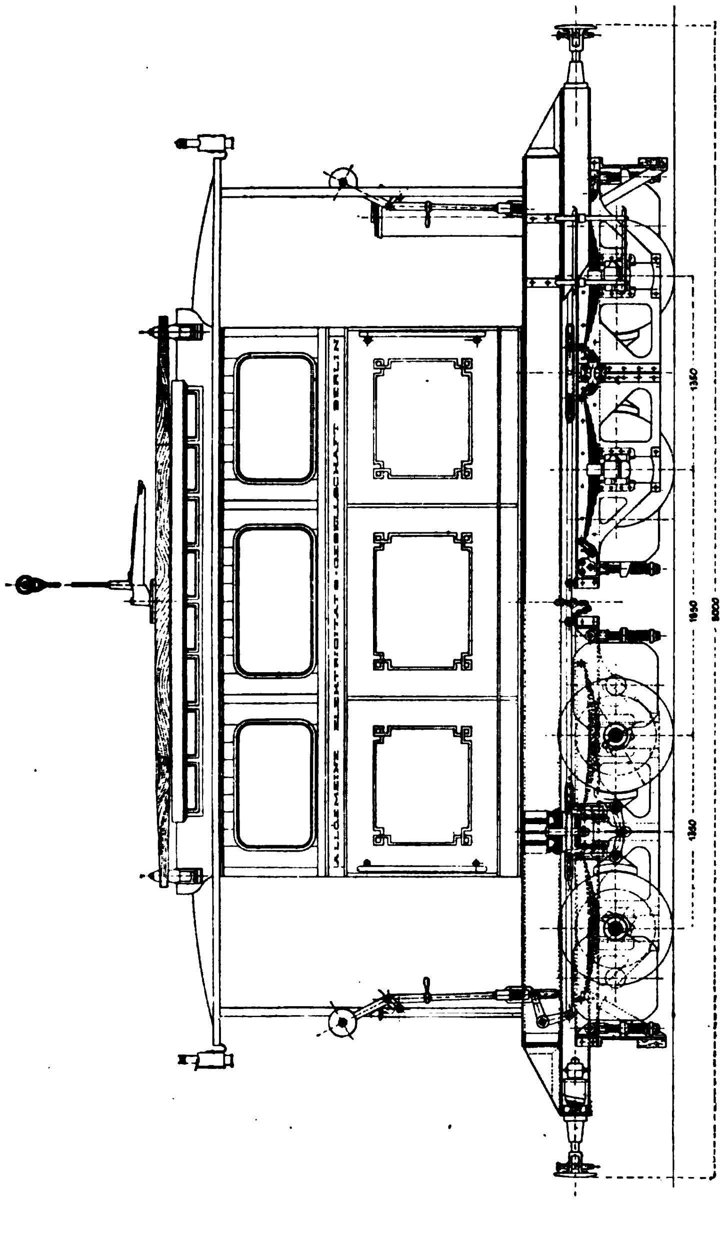
Die Lokomotive ist im November 1897 in Betrieb gekommen; zunächst waren im Beiwagen 48 Elemente untergebracht, später 100 und zuletzt, wie schon erwähnt, 192. Die höchste Zuglast betrug 147 *t*, worin der Beiwagen, nicht aber die Lokomotive eingerechnet ist; damit liess sich eine Geschwindigkeit von 45 *km*/Std. erreichen, wobei die Motoren in Reihe geschaltet waren. Wenn man sie parallel schaltete, so liess sich auf ebener Strecke bequem eine Fahrgeschwindigkeit von 100 *km*/Std. mit einer Zuglast von 100 *t* erzielen. Bei dieser Schnelligkeit machen die Motoren rund 500 Minuten-Umdrehungen; die Stromstärke eines jeden steigt bis zu 700 Ampère. Die gesamte elektrische Leistung der Lokomotive beträgt dann rund 500 Kilowatt, was bei einem Wirkungsgrade der Motoren von 0,9 einer thatsächlichen Leistung von 611 PS entspricht. Die bisherigen Versuche hatten hauptsächlich den Zweck, die mechanischen und elektrischen Einrichtungen der Lokomotive auf ihre Brauchbarkeit zu prüfen und die Leistungsfähigkeit der Akkumulatoren festzustellen.

Die Allgemeine Elektricitäts-Gesellschaft zu Berlin hat eine Schmalspur-Lokomotive für gemischten Betrieb, welche in den Fig. 135, 136a, b, c und 137 dargestellt ist, konstruiert. Dieselbe ist, nach den Angaben der genannten Gesellschaft, bestimmt, die Zufuhr und Abholung normalspuriger Güterwagen, welche zu diesem Zwecke auf Schmalspur-Untergestelle gesetzt werden, zu und von industriellen Etablissements im Innern von Städten zu besorgen. Sie ist für eine Spurweite von 1000 *mm* konstruiert, vollständig symmetrisch gebaut und besitzt vier Achsen, welche durch je einen Motor angetrieben werden und, mit Rücksicht auf das Durchfahren kleiner Kurven, zu je zwei in einem Drehgestell vereinigt sind.

Die Lokomotive ist imstande, bei einer Fahrgeschwindigkeit von 15 *km* in der Stunde eine normale Zugkraft von 1160 *kg* zu entwickeln. Zu diesem Zwecke muss das Adhäsionsgewicht, d. i. das Gesamtgewicht, der betriebsfähigen Lokomotive etwa 15000 *kg* betragen.

Der Oberkasten stützt sich mit je einem kugelförmigen Zapfen auf die Mitte der beiden Drehgestelle. Ausser dem Drehzapfen, welcher die Last des Oberkastens aufnimmt, sind an jedem Drehgestell noch zwei Gleitflächen vorhanden.

Längenansicht.



Spurweite 1000 *mm*; Geschwindigkeit 15 *km* i. d. Stde.; Zugkraft 1160 *kg*; Gewicht, betriebsfähig, 15000 *kg*; Anzahl der Motoren 4 V. N. B 125; Leistung eines Motors 13,3 PS; Stromverbrauch eines Motors 25 Amp. bei 500 Volt; Tourenzahl der Motoren 400 i. d. Min.

Fig. 135.

Die Rahmen der Drehgestelle bestehen aus Blechplatten, die durch ⊔- und L-Eisen miteinander verbunden sind und entsprechende Ausschnitte für die Achsen besitzen. Der Radstand der Drehgestelle beträgt 1,35 *m*, sodass selbst Kurven von 15 *m* Radius leicht durchfahren werden können. Die Räder haben im Laufkreise einen Durchmesser von 800 *mm*.

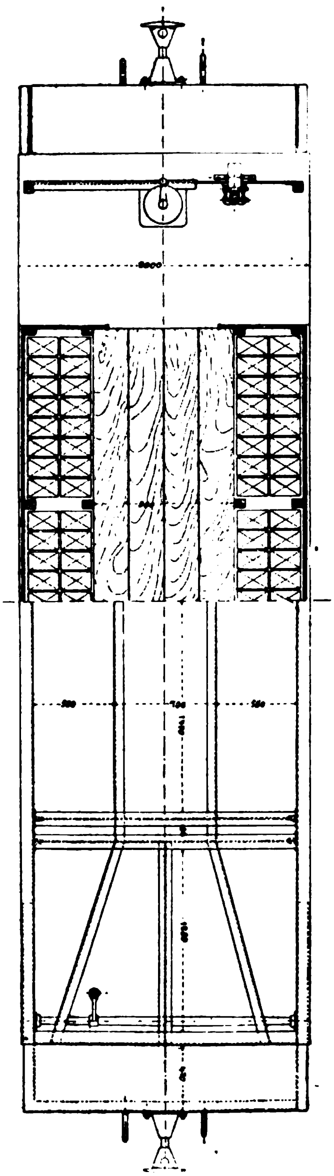


Fig. 136 a.

Grundriss des Oberkastens.

Die Übertragung des Lokomotivgewichtes auf die Achsschenkel geschieht durch Blattfedern aus einzelnen gerippten Stahllamellen von 70 *mm* Breite und 10 *mm* Dicke.

Die vorgeschriebenen Bahnräumer an jedem Drehgestell reichen bis auf 50 *mm* über Schienenoberkante hinab. Damit sich die Drehgestelle im Falle einer Entgleisung nicht quer zum Gleise stellen können, sind sie durch je eine kurze Kette an dem Untergestell des Oberkastens befestigt.

Die Bremse wird je nach Wunsch entweder als Spindel- oder als Exter'sche Wurfbremse ausgebildet und wirkt mit je einem Bremsklotz auf jedes der acht Räder. Sie kann sowohl von dem Vorder- als auch von dem Hinterperron in gleicher Weise angezogen werden.

Der Oberkasten ist derart mitten auf das Untergestell aufgebaut, dass vorn und hinten noch je ein Perron frei bleibt, von welchem aus man durch je eine Thür in das Innere gelangen kann.

An jedem Perron ist eine Sandstreuvorrichtung angebracht, welche von Hand bedient wird.

Der Fussboden des Wagenkastens enthält Klappen, durch

welche man leicht an die zu schmierenden Teile der Motoren u. s. w. gelangen kann.

Die elektrische Energie wird der Lokomotive durch Oberleitung üblicher Form zugeführt und die Stromabnahme erfolgt durch Rolle.

Damit die Lokomotive auch Gleisstrecken, auf denen eine Stromzuführung unmöglich ist, befahren kann, enthält sie im Innern des Wagenkastens eine Akkumulatorenbatterie, welche auf den Strecken mit Oberleitung geladen wird und auf Strecken ohne Zuleitung den

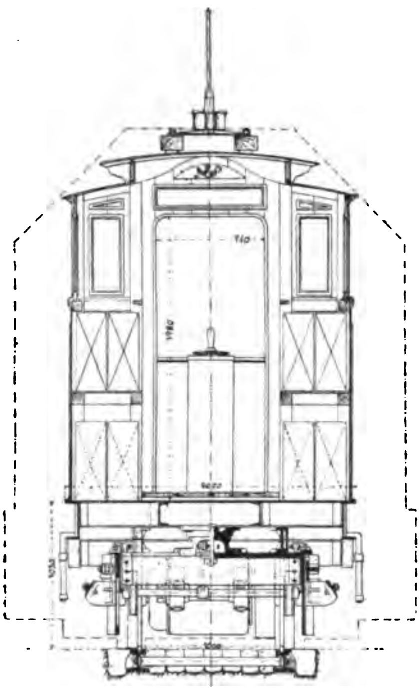


Fig. 136 b. Querschnitt.

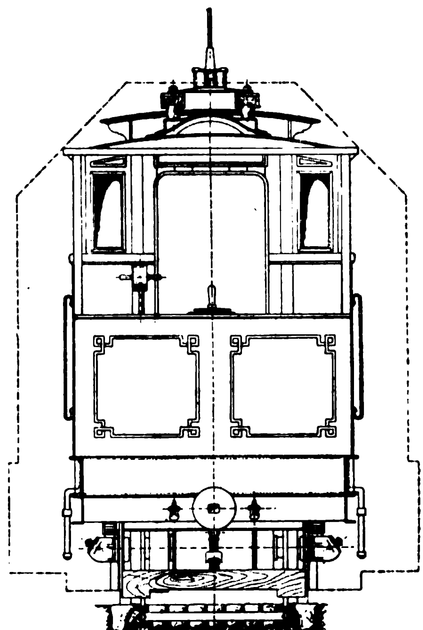


Fig. 136 c. Stirnansicht.

Strom an die Motoren wieder abgiebt. Die Akkumulatorenbatterie besteht aus 200 Elementen, welche in zwei Etagen an den beiden Längsseiten des Wagenkastens in besonderen hölzernen Gestellen derart untergebracht sind, dass ihre Beaufsichtigung auch während der Fahrt jederzeit möglich ist. Die Batterie kann bei voller Ladung einen Strom von etwa 100 Ampère und 370 Volt eine halbe Stunde lang abgeben.

Um den Säuredämpfen Abzug zu gewähren, ist das Dach mit Oberlichtaufbau versehen. Aus dem gleichen Grunde erhalten die Eingangsöffnungen an den Stirnseiten keine Thüren.

Die vier Motoren sind einerseits unmittelbar auf den Laufradachsen gelagert, anderseits an dem Drehgestellrahmen derart federnd aufgehängt, dass nur die Hälfte des Motorgewichtes als nicht abgefederte Last auf die Achse wirkt. Der Antrieb der Laufachsen erfolgt mittels eines Zahnräderpaares aus Phosphorbronze und Gussstahl, die in einen Schutzkasten aus Eisenblech eingeschlossen sind.

Die normale Umdrehungszahl der Motoren beträgt rund 400 in der Minute.

Auf jedem Perron ist vorn in der Mitte ein Umschalter angebracht und die Einrichtung so getroffen, dass jedesmal der in der Fahrtrichtung vorn liegende Umschalter benutzt wird, wodurch der Lokomotivführer in der Lage ist, die Strecke genau übersehen zu können. Jeder Umschalter wird mit nur einer Kurbel bedient und dient zur Regelung der Fahrgeschwindigkeit, sowie zum elektrischen Bremsen. Auch kann durch dieselbe Kurbel die Fahrtrichtung geändert werden.

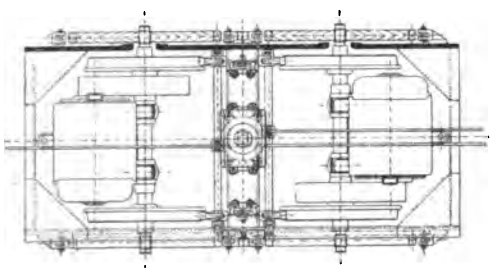


Fig. 137. Grundriss eines Drehgestells.

Die verschiedenen Geschwindigkeiten, wie sie besonders beim Verschiebedienst und beim Kleinbahnbetrieb erforderlich sind, werden durch verschiedenartige Schaltung der Motoren, sowie durch Änderung der Stärke des magnetischen Feldes erreicht. Für die geringeren Fahrgeschwindigkeiten werden die Motoren hintereinander, für grössere parallel geschaltet.

Der normale Stromverbrauch bei 500 Volt Spannung beträgt für jeden Motor etwa 25 Ampère. Jeder Motor leistet hierbei etwa 13,3 PS, während die maximale Leistung rund 23,5 PS beträgt.

Wird die Kontaktrolle des Stromabnehmers ausser Berührung mit dem Fahrdrahte gebracht, so findet hierdurch ohne weiteres die Stromlieferung seitens der Akkumulatorenbatterie statt.

Die elektrische Ausrüstung der Lokomotive besteht ausser dem Stromabnehmer, der Akkumulatorenbatterie, den vier Motoren und den beiden Perron-Umschaltern, sowie den erforderlichen Kabelverbindungen noch aus:

1. Sicherungen zum Schutze der Motoren gegen schädliche Überlastungen; dieselben finden ihren Platz im Innern des Wagenkastens an einer leicht zugänglichen Stelle;

2. einer Blitzschutzvorrichtung mit selbstthätiger Funkenlöschung, bei welcher bewegliche, dem Einrosten u. s. w. ausgesetzte Teile vermieden sind;

3. einer Vorrichtung zur Ausschaltung der einzelnen Motoren im Falle eines Defektes;

4. dem schon erwähnten Widerstand zur Erzielung eines rucklosen Anfahrens und zur Bethätigung der elektrischen Bremsung;

5. der elektrischen Beleuchtung nebst den zugehörigen Ausschaltern und Anschlussdosen.

Die Beleuchtung der Lokomotive geschieht durch acht elektrische Glühlampen, von denen je vier in einen Stromkreis hintereinander geschaltet sind. Die Verteilung der Lampen ist folgende:

Die Signallaterne, welche im Sinne der jedesmaligen Fahrtrichtung vorn aufgesteckt werden kann, enthält zwei Glühlampen, während der Akkumulatorenraum durch sechs Lampen erleuchtet wird. Die Schaltung ist so getroffen, dass auch beim Versagen eines Stromkreises in der Signallaterne noch eine und im Akkumulatorenraume noch drei Glühlampen brennen.

Im allgemeinen bieten die Akkumulatorenlokomotiven den gewöhnlichen Leitungslokomotiven gegenüber keine Sonderheiten, sodass deren konstruktive Behandlung im nachfolgenden Abschnitt erfolgen kann.

Über »Fabriklokomotiven mit Akkumulatorenbetrieb« hat Dr. Max Büttner in »Stahl und Eisen« 1900, No. 21 einige Betriebsdaten mit ausgeführten Lokomotiven niedergelegt und berechnet hier, dass die Kosten denen einer Oberleitungslokomotive gleichkommen. Gerade für Verschiebedienste ist sicherlich eine Akkumulatorenlokomotive gut verwendbar und aussichtsreich.

6. Lokomotive mit direkter Stromzuführung.

Wir kommen nunmehr zu denjenigen elektrischen Lokomotiven, denen die Betriebskraft lediglich von aussen und während der Fahrt zugeführt wird, die also ohne mitgeführten Kraftspeicher arbeiten.

Die grosse elektrische Lokomotive der Baltimore- und Ohio-Bahn ist bestimmt, Personen- und Frachtzüge durch einen rund 2250 *m* langen Tunnel von 8,23 *m* Breite und 6,7 *m* Höhe zu schleppen. Man ist bei der Verwendung dieser Betriebsart von dem Gedanken ausgegangen, die Belästigung durch Rauch und Feuergase, die sich in dem Tunnel stark geltend machte, durch den elektrischen Betrieb zu beseitigen. Angefertigt wurden die hierfür nötigen sechs Lokomotiven von der General Electric Co.

Zwei derartige Lokomotiven besitzen 30 bezw. 40 *t* und vier 96 *t*.

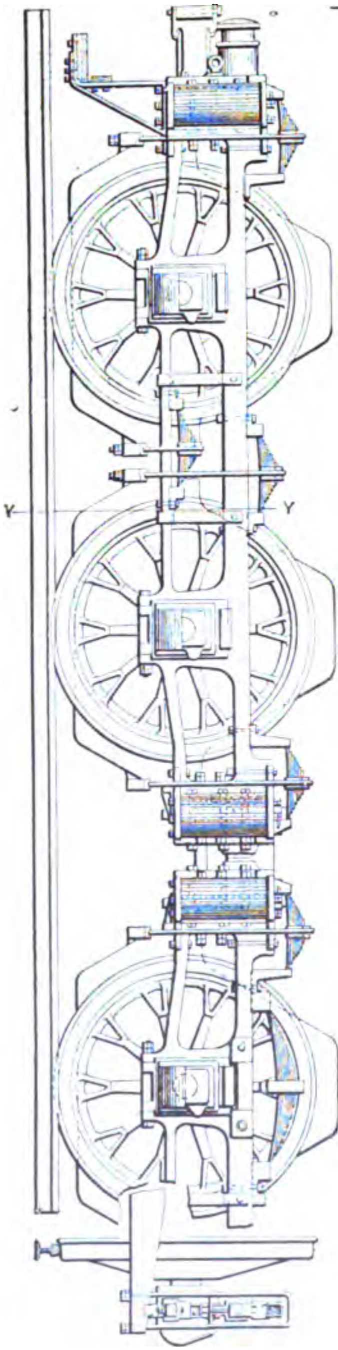


Fig. 138.

Eine Lokomotive hat täglich 100 Züge durch den Tunnel und über die weiteren Anschlussstrecken von 2250 *m* Länge, insgesamt über eine Länge von rund 4,50 *km*, zu schleppen. Die Personenzüge haben ein mittleres Gewicht von 500 *t* und müssen mit einer Geschwindigkeit von 56 *km* in der Stunde gefahren werden. Die Güterzüge wiegen im Mittel 1200 *t* und werden mit 24 *km* in der Stunde fortbewegt. Die Steigung im Tunnel beträgt 8‰, auf den Anschlussstrecken 15‰.

Die Lokomotive wiegt 96 *t* und ruht auf zwei Untergestellen mit je zwei Achsen, die sämtlich durch Motoren angetrieben werden. Die hauptsächlichen weiteren Mass- und anderen Zahlen seien hier kurz zusammengestellt:

Höchste Zugkraft . . .	29000	*kg*
Spurweite	1,435	*m*
Äusserer Raddurchmesser .	1,575	»
Gesamtlänge	10,670	»
Höhe bis zum Dach . .	4,343	»
Radstand an jed. Untergestell	2,080	»
Grösste Breite	2,900	»

Die Untergestelle (vergl. Fig. 138, in welcher zugleich die Kuppelung zu ersehen ist) sind aus Schmiedeeisen hergestellt und haben Gussstahlräder. Jede Achse wird durch einen sechspoligen Motor angetrieben, welcher federnd aufgehängt ist und die Räder durch eine federnde Kuppelung unmittelbar antreibt.

Die Motoren sind je 12 *t* schwer und vollkommen geschlossen. Die Anker sind Nutenanker, welche für jede Windung eine Nute haben. Das mit der Welle des Ankers verbundene Kuppelungsrad besteht aus einem fünfarmigen Stern, der mit den Enden seiner Arme in das Triebrad eingreift. Zwischen

den betreffenden Radspeichen und den Armen des Sternes sind Gummipuffer eingeschaltet, durch welche stossweise Bewegungen verhindert werden. Die Ankerwelle trägt solche Kuppelungen an beiden Enden und treibt also je zwei durch die Wagenachse verbundene Räder.

Da bei dieser Anordnung Ankerwelle und Radachse konzentrisch liegen müssen, so ist die erstere hohl und die letztere führt durch sie hindurch. Der lichte Durchmesser der Ankerwellenbohrung ist 63,5 *mm* grösser als der Achsendurchmesser, sodass der Motor in seiner federnden Bewegung nicht gehindert ist. Die zwischengeschalteten Gummipuffer erlauben dem Motor diese Bewegungen auszuführen, ohne dass die Verbindung zwischen Motor und Räder beeinträchtigt wird.

Alle Teile des Motors und des Gestelles sind leicht zugänglich und schnell ab- und aufzumontieren. Auf diesen wichtigen Punkt hat der Konstrukteur besonders und mit Erfolg Rücksicht genommen.

Die Leistung jedes Motors beträgt bei normaler Belastung 360 PS oder 1440 PS für alle vier Motoren. Der Energiebedarf ist 900 Ampère bei 300 Volt für jeden Motor. Da die Betriebsspannung 600—700 Volt ist, so hat man je zwei Motoren in Reihe geschaltet und die der Lokomotive zugeführte Stromstärke ist demnach 1800 Ampère. Für die Abnahme eines solchen beträchtlichen Stromes dient ein kupferner Kontaktschuh, der auf einem Doppelgelenkarm sitzt. Eine Kabelleitung verbindet den Schuh mit den Schaltapparaten.

Über die Stromleitung selbst ist im Kapitel VIII näheres mitgeteilt.

Der Lokomotivführerstand ist aus Stahlblechwänden mit Holzfütterung hergestellt und in zwei Abteile geschieden, von denen jedes über einem Gestell liegt. In demselben befinden sich die Messinstrumente, ein Strommesser und ein Spannungsmesser, die selbstthätigen Ausschalter und die Schaltapparate, ferner auch die Bethätigungsvorrichtungen für die Bremsen und die Pfeife. Für die letzteren ist ein Druckluftbehälter auf der Lokomotive angebracht, für dessen Füllung eine elektrische Druckluftpumpe dient.

Mit diesen Lokomotiven wurden Versuche an Personenzügen angestellt und dabei ergab sich, dass man bei einem Zuggewicht von 500 *t* nicht nur eine gewährleistete Geschwindigkeit von 48 *km*/Std., sondern sogar 55 und 64 *km* erreichen konnte. Die Lokomotive allein vermochte bei einer Steigung von 8‰ bis zu 98 *km*/Std. zurückzulegen. Von den zahlreichen mit Güterzügen gemachten Probefahrten verdient besonders eine hervorgehoben zu werden, bei welcher ein beladener Zug von 44 Wagen mit einer Dampflokomotive

vorn und einer hinten im Gesamtgewicht von 1930 *t* geschleppt wurde, und zwar ohne dass die Dampflokomotiven in Betrieb waren. Die elektrische Lokomotive zog sanft an; nach kurzer Zeit riss zwar eine Kuppelung, wurde jedoch schnell wieder hergestellt. Alsdann erreichte man eine Fahrgeschwindigkeit von 19,3 *km*/Std. Der Stromverbrauch betrug beim Anziehen 2200 Ampère und ging allmählich auf 1800 Ampère zurück; dabei war die Spannung 625 Volt. Die Zugkraft wurde hierbei zu rund 28600 *kg* ermittelt. Die Lokomotivmotoren waren hintereinander geschaltet und leisteten bei der betreffenden Stromstärke die höchste Zugkraft. Fig. 139 giebt den Verlauf der Stromkurve beim Anziehen eines anderen Zuges, und

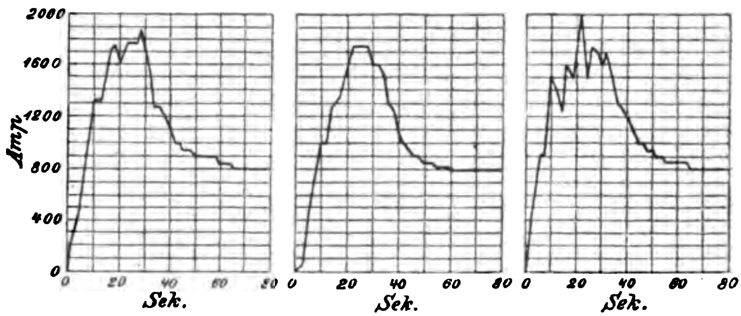


Fig. 139.

zwar in drei verschiedenen Fällen, wieder. Die Last war rund 875 *t*, die Steigung betrug 8 $^0/_{00}$.

Was die Wirtschaftlichkeit des elektrischen Betriebes in Vergleich zu den Dampflokomotiven betrifft, kann eine Zahlenreihe angeführt werden, die aber nicht massgebend ist, weil eine beträchtliche Anzahl Dampflokomotiven einer einzigen elektrischen gegenüber gestellt werden. Immerhin ist es von Interesse, die Leistung und die Betriebskosten der letzteren kennen zu lernen. Die folgende Aufstellung bezieht sich auf den Monat Oktober 1895:

Anzahl der durch den Tunnel geschleppten Züge	353
Durchschnittliches Gewicht der Züge	1095 *t*
Durchschnittlicher Stromverbrauch	986 Amp.
Länge der gesamten durchfahrenen Strecke . .	6436 *m*
Durchschnittliche Fahrzeit	20 Min.
Gesamtlänge der von der Lokomotive im Dienst zurückgelegten Strecken	2272 *km*
Gesamtlänge der leer zurückgelegten Strecken .	6043 »

Kostenberechnung.

Centrale:	Bedienung der Maschinen	1345,70 $
	Kohle (1,35 $ pro Tonne)	400,96 »
	Öl	151,26 »
	Wasser	50,66 »
	Unterhaltung	25,42 »
	Zusammen:	1974,00 $
Lokomotive:	Gehalt der Bedienungsmannschaft .	200,00 $
	Öl u. s. w.	12,16 »
	Zusammen:	212,16 $
Insgesamt	. . . .	2186,16 $
Betriebskosten für 1 *km*	. . . .	0,263 $

Diese Kosten sollen sich nach der Berechnung von Parker bei zwei Lokomotiven auf 0,173 $, bei drei auf 0,143 $ erniedrigen. Die entsprechenden durchschnittlichen Kosten für die Güterzuglokomotiven von vier verschiedenen amerikanischen Eisenbahngesellschaften waren in der gleichen Zeit 0,163 $.

Vergleichende Beobachtungen bezüglich des Nutzeffektes sprechen zu Gunsten des elektrischen Betriebes; dieser ergab nämlich in Baltimore und Ohio einen Wirkungsgrad von 60—65% gegen 45—55% bei Dampfbetrieb, laut Versuchen auf der Pennsylvaniabahn und französischen Linien.

Eine 67 *t* schwere 1000 PS Verschiebelokomotive wurde von Sprague 1894—1895 für die North American Co. konstruiert; dieselbe ist durch Fig. 140 in ihrer Seitenansicht dargestellt. Die Fig. 141a und b zeigen die innere Einrichtung eines Oberkastens ähnlicher Lokomotiven mit Anordnung der Schaltapparate u. dergl. Die obengenannte Lokomotive besitzt vier Achsen, die in einem Untergestell vereinigt sind. Die sämtlichen Räder von 1,42 *m* Durchmesser sind durch Kurbelstangen gekuppelt. Nur die vier äusseren Räder besitzen Flanschen.

Die vier Motoren sind für 800 Volt und je 250 Ampère gebaut, leisten mithin bei 93% Nutzeffekt je 250 PS. Auch hier sind die Motoren direkt mit den Achsen verbunden, obgleich diese Lokomotive für geringe Geschwindigkeit und schwere Lasten verwendet wird.

Noch älteren Datums sind einige andere zwei- und vierachsige Lokomotiven mit 30 und 40 *t* Eigengewicht, welche indess durch die hier angeführten, durch Bild und Wort erläuterten typisch vertreten sind.

In der königlichen Eisenbahn-Hauptwerkstätte Potsdam werden seit Mai 1895 die sehr umfänglichen Verschiebungen jener Wagen, welche zur Reparatur oder Revision beizustellen sind oder aus der

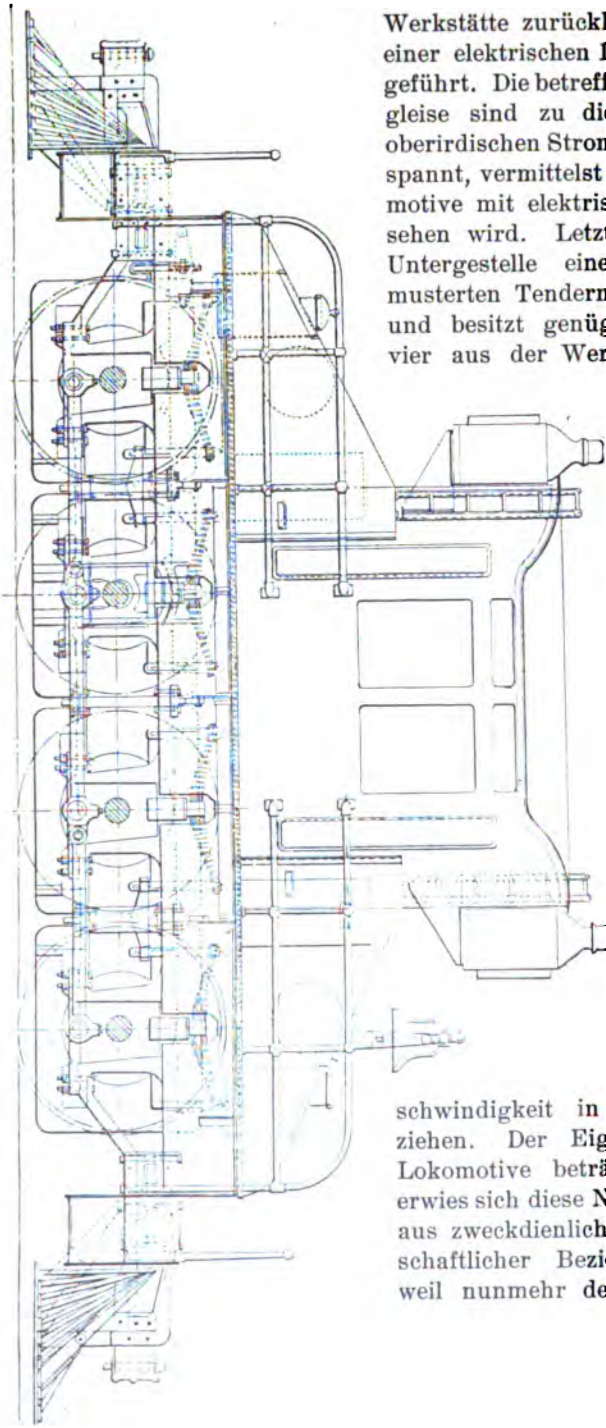


Fig. 140.

Werkstätte zurückkehren, mit Hilfe einer elektrischen Lokomotive durchgeführt. Die betreffenden Verschiebegleise sind zu diesem Zwecke mit oberirdischen Stromzuleitungen überspannt, vermittelst welcher die Lokomotive mit elektrischem Strom versehen wird. Letztere ist mit dem Untergestelle einer alten, ausgemusterten Tendermaschine versehen und besitzt genügende Kraft, um vier aus der Werkstatt kommende zweiachsige Wagen, welche in diesem Zustande bekanntlich besonders schwer laufen, ohne Schwierigkeit mit der gewöhnlichen Rangiergeschwindigkeit zu schleppen oder zu schieben. Diese von Siemens & Halske in Berlin gebaute Lokomotive, in Fig. 142 dargestellt, besitzt eine Zugkraft bis zu 1400 *kg* und vermag zwei Schlafwagen und einen Güterwagen (rund 80000 *kg*) mit 1 *m* Geschwindigkeit in der Sekunde zu ziehen. Der Eigenwiderstand der Lokomotive beträgt 225 *kg*. Es erwies sich diese Neuerung als durchaus zweckdienlich und auch in wirtschaftlicher Beziehung vorteilhaft, weil nunmehr der grosse Arbeiter-

stand, welcher früher für die Bewältigung der lediglich durch Menschenkraft besorgten Wagenverschiebungen erforderlich war, bis auf die Lokomotivlenker und einen oder zwei Hilfsarbeiter erspart bleibt. Diese Überzeugung hat sich nun bei uns durchgerungen und man ist allenthalben bemüht, die mit Dampf so teueren Verschiebekosten selbst in grösseren Fabriken durch Anwendung von Elektrizität zu verringern.

So wird z. B. eine auf der Materialbahn der Mühlenverwaltung des Berliner Holzcomptoirs Viktoriamühle bei Oderberg-Bralitz in Betrieb befindliche elektrische Lokomotive zur Beförderung der mit Nutzholz beladenen Eisenbahnwaggons nach dem Staatsbahngleise verwendet. Sie vermag bei einem Gewicht von etwa 3,5 *t* eine Bruttolast von 15 *t* mit 2 *m* sekundlicher Geschwindigkeit zu ziehen.

Ferner hat die chemische Fabrik von Heyden in Radebeul bei Dresden eine elektrische Lokomotive in Betrieb gestellt, die bei einem Gewicht von 12,77 *t* eine Last von 105 *t* mit 2,5—3 *m* sekundlicher Geschwindigkeit bewegt. Auch diese Materialbahn ist an das Staatsbahngleis angeschlossen.

Zwei weitere Lokomotiven, deren eine in Fig. 143 dargestellt ist, wiegen je 7500 *kg* und sind seit 1895 in Serajewo in Gebrauch; sie dienen dazu, den Güterverkehr zwischen dem Frachten- und Stadtbahnhof in Serajewo zu vermitteln. Auf der etwa 3 *km* langen Strecke sind von einer Lokomotive vom 1. September bis Ende Dezember 1895 im ganzen 7258 *km* gefahren und über 10000000 *kg* Güter befördert worden.

Die hier genannten Zuggefährte sind von der Firma Siemens & Halske, A.-G. in Berlin, erbaut worden und durchweg mit Bügelkontakt versehen. Dieser letztere Kontakt eignet sich besonders gut für Verschiebedienst, da er sich bei Änderung der Fahrtrichtung von selbst umlegt und keiner Aufmerksamkeit des Führers bedarf. Im äusseren Ansehen unterscheiden sich diese Gefährte wenig von gewöhnlichen Motorwagen. Ihre motorische Einrichtung ist ebenfalls diesen ähnlich. Motorgrösse und Übersetzung sind von Fall zu Fall anzupassen und begegnen noch geringeren Schwierigkeiten, als bei den immerhin im Platz mehr beschränkten Strassenbahnmotorwagen.

Eine in innerer konstruktiver Einrichtung etwas abweichende Lokomotive wurde von der Vereinigten Elektrizitäts-Aktien-Gesellschaft in Wien vormals B. Egger & Comp. für Brauereizwecke geliefert, deren Aufgabe ist, Frachten, welche in zwei bis drei Anhängewagen untergebracht werden, sowie Personen, die im Oberkasten der Lokomotive selbst Platz finden, von der Brauerei zum Bahnhof und umgekehrt zu befördern.

Die Spurweite beträgt nur 960 *mm*. Die Lokomotive muss beim Fahren vom Bahnhofe in die Brauerei eine bedeutende Steigung überwinden. Der Radstand ist 1,5 *m*, sodass man Kurven von 12 *m* Radius durchfahren kann. Die Lokomotive fährt durchschnittlich 10 *km*/Std. Die Laufräder haben 700 *mm* Durchmesser. Die Anhängelast beträgt rund 13 *t*. Der Motor, ein 15-pferdiger Haupt-

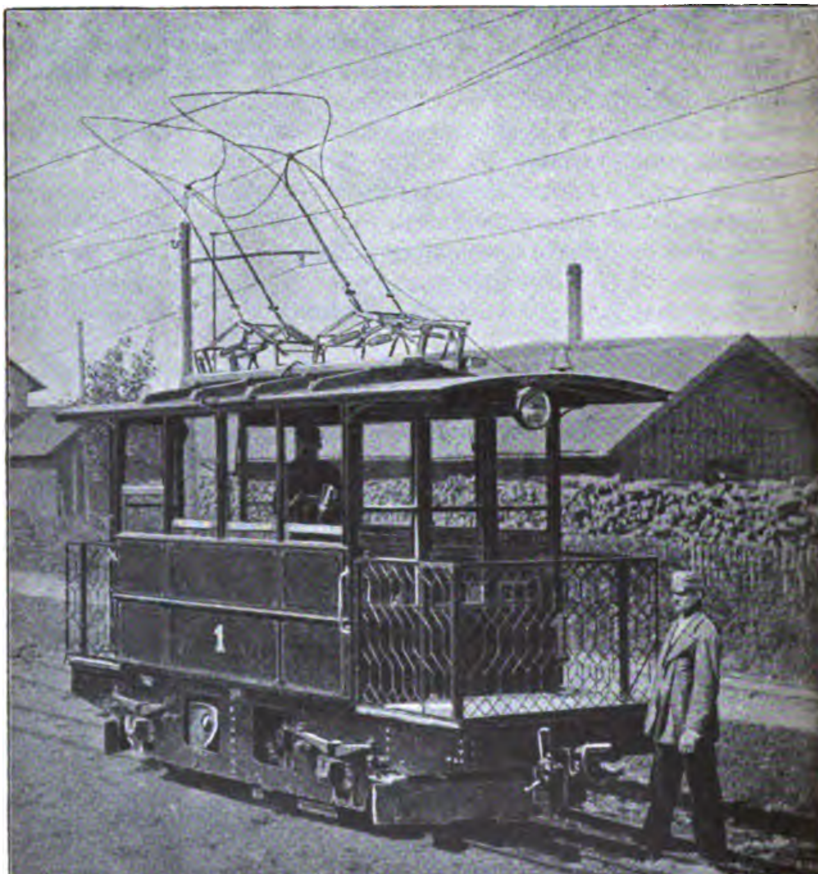


Fig. 143.

strommotor, macht belastet 290 Umdrehungen in der Minute bei einer Betriebsspannung von 500 Volt. Die Lokomotive wiegt samt dem Motor ungefähr 9 *t*. Dieselbe überwindet die vorkommende maximale Steigung von 24 ‰ leicht.

Zur Bildung des Untergestelles ist in diesem Falle hauptsächlich der Motor selbst verwendet. Es sind an dem unteren Teile desselben

symmetrisch auf beiden Seiten zwei starke ⊔-förmige Stahlgussträger angebracht, sodass sich vom Motor vier Arme wegstrecken. Diese Arme sind zu Führungen für die Achslager ausgebildet, auf welch letzteren sie mittels starker Spiralfedern aufruhen. Ferner tragen je zwei Arme einen kräftigen Querbalken, auf welchem Puffer und Zugkette montiert sind. Das Untergestell ist somit samt dem Motor durch die Tragfedern vor Stössen geschützt; das System rührt von Eickemeyer her. Die Übertragung der Bewegung vom Motor auf die Laufräder erfolgt auf folgende Art: Auf jeder Seite der Motorachse sitzt je ein Stirnrad aus Bronze. Dieselben greifen je in eine gezahnte Kurbelscheibe, deren gemeinschaftliche Achse unter dem Motor gelagert ist, ein. Von diesen Kurbelscheiben wird die rotierende Bewegung durch Pleuelstangen auf alle vier Räder übertragen. Dadurch ist es möglich, mit einem Motor beide Radachsen direkt anzutreiben, was bei der grossen Steigung sehr erwünscht ist. Die Kurbelzapfen an den beiden Kurbelscheiben sind um 90° gegeneinander versetzt.

Der Motor ist ein, wie schon erwähnt, zweipoliger Hauptstrommotor. Er ist vollständig staubsicher abgeschlossen und vor Feuchtigkeit geschützt. Sein Magnetgehäuse ist zweiteilig; während der obere Teil durch Schrauben an dem unteren befestigt ist und durch den Fussboden des Wagenkastens hindurch abgehoben werden kann, bildet der untere, wie schon beschrieben, das Untergestell. Um vom Wagenkasten aus bequem zum Kollektor gelangen zu können, sind im oberen Teile des Magnetgehäuses Klappen angebracht. Der Anker ist als Nutenanker konstruiert und mit Schablonenwickelung, die in Glimmer isoliert ist, versehen.

Der Wagenkasten ist aus Holz, mit Flach- und Winkeleisen entsprechend versteift und aussen mit Blech verschalt. Sein Dach ist 2,80 *m* von der Schienenoberkante entfernt, seine Breite ist 1,49 *m*. An beiden Stirnseiten ist er ausgebaucht; der Innenraum dieser Ausbauchungen nimmt die Sandkasten und die nötigen Widerstände auf. Das Innere des Wagenkastens wird durch zwei mit der Lehne aneinanderstehende, umklappbare Bänke in zwei Hälften geteilt. Mit Hilfe eines Flaschenzuges, der an einem zu diesem Zwecke an der Decke angebrachten Ringe aufgehängt wird, kann nach Öffnung der Fussbodenklappe der obere Teil des Motorgehäuses abgehoben und eventuell auch der Anker herausgenommen werden. Auf diese Weise ist es möglich, Reparaturen am Motor vorzunehmen, ohne das Untergestell zu demontieren.

Zu den zwei Abteilungen des Wagenkastens gelangt man durch zwei seitlich angebrachte Thüren. Beide Stirnseiten sind mit drehbaren Fenstern versehen und zu Führerständen ausgebildet. Der

Wagenkasten ruht mit vier Blattfedern und vier Spiralfedern auf dem Stahlgussrahmen auf.

Die Bremsung der Lokomotive wird mittels Spindelbremsen bewerkstelligt, und zwar kann die Bremse von beiden Führerständen aus bethätigt werden. Alle vier Räder werden gebremst. An beiden Führerständen sind noch die Hebel der Sandstreuvorrichtung angebracht.

Die elektrische Einrichtung der Lokomotive ist folgende: An beiden Führerständen ist nebst Bremskurbel und Sandstreuhebel ein Schaltapparat zur Regulierung der Geschwindigkeit angebracht. Der Schaltapparat ermöglicht auch durch Kurzschluss des Ankers eine elektrische Bremsung. Ferner befinden sich noch im Wagen die nötigen Schalter und Sicherungen für die Beleuchtung.

Im Wagenkasten sind an der Decke zwei Glühlampen montiert, ferner trägt die Lokomotive aussen an jeder Stirnseite eine Signallaterne, welche drei Glühlampen enthält. Je nach der Fahrtrichtung brennt die vordere Signallampe immer gemeinschaftlich mit der Innenbeleuchtung. Fährt aber die Lokomotive nicht allein, sondern mit einem Anhängewagen, so hat die entsprechende Signallaterne und eine der beiden Glühlampen, und zwar die beim Führerstand, dafür eine Glühlampe in dem Anhängewagen zu brennen. Diese Schaltungen werden durch zwei Schalter bewirkt.

Die Zuleitung des Stromes ist oberirdisch und zwar ist das Rollensystem angewendet. Die Rollenstange ist aber nicht wie gewöhnlich am Dache der Lokomotive, sondern an deren Seite auf einer Konsole angebracht. Diese Anordnung wurde deshalb getroffen, weil die an und für sich 2,80 *m* hohe Lokomotive 3 *m* hohe Thore zu passieren hat, wodurch das Aufsetzen der Rollenstange auf dem Dache unmöglich wurde. Unter der Konsole für die Stange ist eine Blitzschutzvorrichtung und eine Hauptbleisicherung angebracht. Diese beiden sind vor Regen gut geschützt. Die Bleisicherung ist ausserdem in einem leicht zu öffnenden Thonkästchen verschlossen. Die Lokomotive trägt auf jeder Seite einen Schienenräumer, der am Untergestell befestigt ist. Ferner sind die Kurbelscheiben mit ihren Zahnrädern durch Schutzkästen aus schwachem Guss abgedeckt, die in ihrem unteren Teil so viel Öl aufnehmen können, dass die Zahnräder ständig in Öl laufen. Um das Eindringen von Staub zu verhindern, sind diese Radschutzkasten entsprechend abgedichtet.

Das ganze Untergestell wurde mit einer Blechverschalung umgeben, welche so eingerichtet ist, dass man durch Thüren leicht zu allen Teilen des ersteren gelangen kann. Durch all diese Vorkehrungen wird ein Dauerbetrieb absolut gefahrlos und die Wartung der Maschine äusserst vereinfacht.

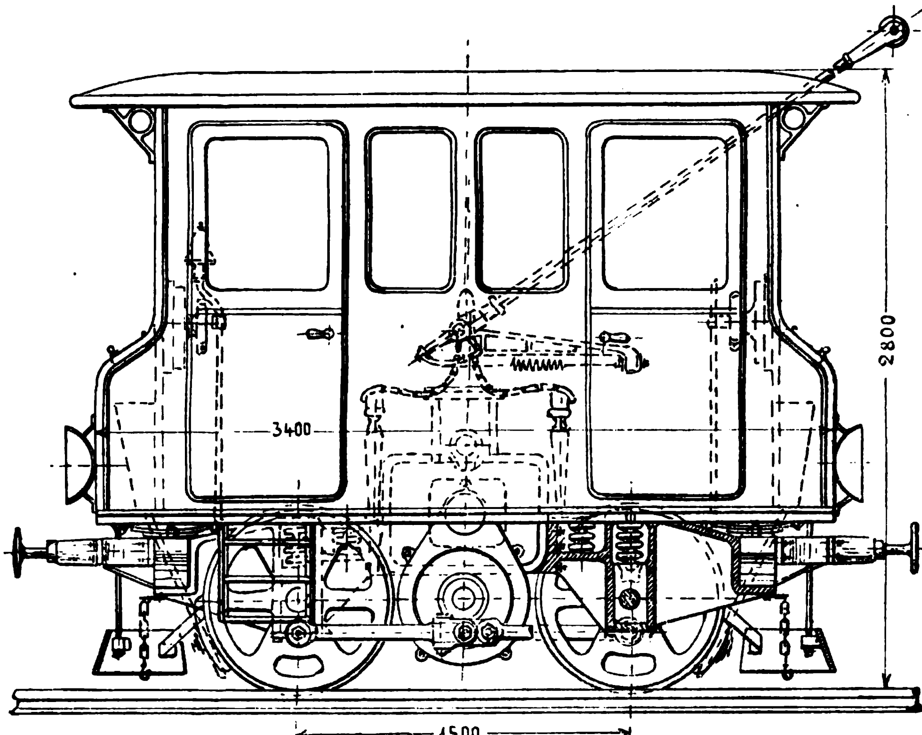


Fig. 144 a.

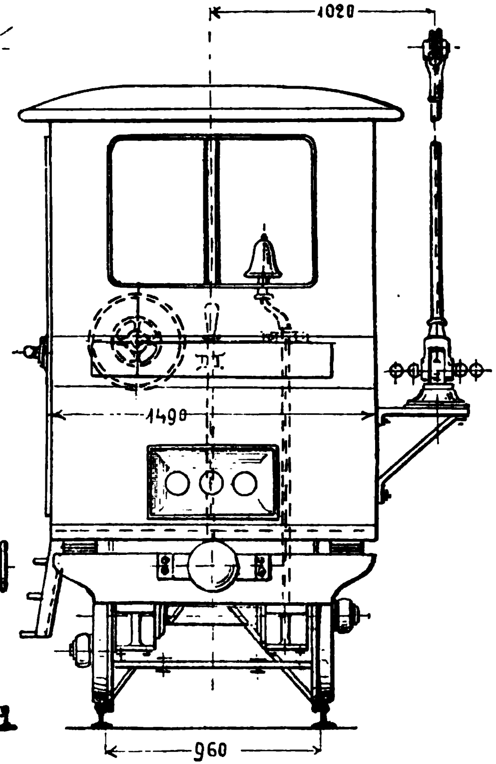


Fig. 144 b.

Der Stromkonsum der Lokomotive, und zwar bei Beförderung von 13 *t* Last auf 24 ‰ Steigung mit 6 *km*/Std. Geschwindigkeit, ist 24 Ampère bei 500 Volt.

In Fig. 144a und 144b ist eine zeichnerische und in Fig. 145 eine photographische Darstellung der Egger-Lokomotive gegeben.



Fig. 145.

Die von der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft Berlin gebaute und auf der Pariser Weltausstellung 1900 gezeigte elektrische Vollbahn-Lokomotive (Fig. 146a und 146b) kann sowohl zur Beförderung von Güter- und Personenzügen, als auch für Anschluss- und Rangierdienst auf Vollbahngleisen Verwendung finden. Sie ist für die normale Spurweite von 1435 *mm* konstruiert und vollständig symmetrisch gebaut. Die Lokomotive besitzt zwei Achsen, welche durch je einen Motor angetrieben werden. Bei dem Entwurfe sind die »Musterblätter für Betriebsmittel der preussischen Staatsbahnen« zu Grunde gelegt worden, auch haben die bindenden Vorschriften der »Betriebsordnung für die Haupteisenbahnen Deutschlands«, sowie der »Technischen Vereinbarungen des Vereins deutscher Eisenbahn-Verwaltungen« Berücksichtigung gefunden, sodass der Beförderung der Lokomotive als Wagen in einem Güterzuge auf den Bahnen des genannten Vereins Hindernisse nicht entgegenstehen. Im besonderen sind die Ladeprofile der preussischen Staatsbahnen ein-

gehalten worden. Für den Fall der Beförderung als Wagen in einem Güterzuge wird der aus der Umgrenzungslinie für die festen Teile der Betriebsmittel hervorragende Stromabnehmer abgenommen, was ohne Zerstörung irgend welcher Teile möglich ist. Zugleich werden die auf den Achsen sitzenden geteilten Zahnräder entfernt, damit während der Fahrt in einem Güterzuge die Anker der Motoren sich nicht zu drehen brauchen.

Die Lokomotive ist imstande, einen Zug bis zu 300 *t* mit einer Geschwindigkeit von 8,5 *m* in der Sekunde oder 30 *km* in der Stunde auf der wagerechten Strecke zu befördern. Das Adhäsionsgewicht der Lokomotive, welches im vorliegenden Falle mit dem Gesamtgewicht identisch ist, beträgt 24 *t*, ihre grösste Zugkraft am Triebradumfange (beim Anziehen) 3600 *kg*. Die Lokomotive ist mit Ausnahme des Führerhausdaches, des Fussbodens und der inneren Auskleidung des Führerhauses vollständig aus Eisen und Stahl hergestellt.

Das Untergestell besteht im wesentlichen aus zwei die Langträger bildenden Blechrahmenplatten von 23 *mm* Dicke, welche durch kräftige [-Eisen bezw. -Bleche mit aufgenieteten geschweissten L-Eisenrahmen gehörig gegeneinander versteift sind und vorn und hinten die Pufferbohlen und Bahnräumer tragen. Letztere reichen bis auf 60 *mm* über Schienenoberkante herab bei einem normalen Pufferstande von 1040 *mm*. Zur Verbindung der Lokomotive mit dem Wagenzuge dienen an jeder Kopfschwelle ein Zughaken mit Kuppelung und Sicherheitskuppelung. Unterhalb jedes Puffers befinden sich Bügel zum Festhalten für die Wagenkuppler beim Rangieren. Die Zugstange ist aus konstruktiven Gründen nicht durchgeführt worden; es musste daher jeder Zughaken mit einer besonderen Feder in der Pufferbohle gelagert werden. Die Hauptrahmenbleche tragen Konsolen aus Blech mit Winkeleisenarmierung, welche zum Tragen des Oberkastens dienen. Das ganze Untergestell ist mit starken Blechplatten abgedeckt und erhält auch hierdurch eine nicht unwesentliche Versteifung.

Der Radstand beträgt 2500 *mm*, die Räder haben im Laufkreise einen Durchmesser von 1000 *mm*.

Die Übertragung des Lokomotivgewichtes auf die Achsschenkel geschieht durch Blattfedern, welche aus einzelnen gerippten Stahllamellen von 90 *mm* Breite und 13 *mm* Dicke bestehen und in der Mitte durch einen schmiedeeisernen Bund zusammengehalten werden. Zur Erzielung möglichst gleicher Achsbelastungen ist an den beiden Längsseiten des Rahmens je ein Balancier angebracht, welcher eine etwaige Überlastung einer Tragfeder auf die andere überträgt.

Die Bremse ist als Schraubenspindelbremse ausgebildet und wirkt mit je zwei Bremsklötzen auf jedes der vier Räder. Ausser-

dem ist die Lokomotive noch mit einer Luftdruckbremse, System Westinghouse-Schnellbremse, ausgestattet, deren Bremskolben auf einen auf die Hauptbremswelle gesetzten Hebel wirkt. Die erforderliche Druckluft wird durch eine mittels besonderen Elektromotors betriebene Luftpumpe beschafft und in einen an dem einen Ende zwischen den Rahmenblechen aufgehängten Hauptluftbehälter gedrückt.

Der Oberkasten besteht aus dem eigentlichen Führerhause und den unmittelbar vor und hinter demselben angebrachten abgeschrägten Kästen. Das Führerhaus ist zum Schutze gegen Witterungsunbilden rings geschlossen und in der Mitte beider Längsseiten durch je eine nach innen aufschlagende Drehthür mit herablassbarem Schiebefenster zugänglich; in den Stirnwänden sind je drei, in den Längswänden je zwei grosse Fenster angebracht, von denen sich das Mittelfenster in jeder Stirnwand öffnen lässt. Da das Führerhaus eine äussere Breite von 2900 *mm* besitzt, so kann von demselben aus der ganze Zug gut überblickt werden. Auch der freie Ausblick auf die Strecke ist durch die abgeschrägte Form der vor und hinter dem Führerhause angeordneten Kästen vollkommen gewährleistet. Zum Besteigen dienen an jeder Längsseite bequeme Handleisten sowie ein an dem Trittblech befestigter eiserner Tritt. Das Dach des Führerhauses sowie die innere Verkleidung und der Fussboden bestehen aus Holz, das Dach ist zum Zwecke grösserer Haltbarkeit mit Segeltuch überzogen und mit einem wasserdichten Anstrich versehen. Die Anzugvorrichtung für die Bremse ist im Führerhause in einer entsprechenden gusseisernen Säule gelagert und gestattet jedesmal das Anziehen sämtlicher acht Bremsklötze. Unmittelbar neben der Bremssäule befinden sich die Züge für die Sandstreuvorrichtung. An den beiden Längswänden unterhalb der Fenster steht je ein verschliessbarer Schrank zur Aufnahme der nötigen Werkzeuge und Materialien. Zum Signalgeben ist die Lokomotive mit einer durch Druckluft betriebenen, auf dem Dache angebrachten Pfeife versehen. Die zum Pfeifen erforderliche Luft wird dem oben erwähnten Hauptluftbehälter entnommen.

Die an den beiden Stirnseiten des Führerhauses am Dache angebrachten Laternenstützen dienen zum Einstecken von Petroleumlaternen oder Signalscheiben, falls aus irgend welchen Gründen eine besondere Signalisierung erforderlich sein sollte.

Die Stromabnahme erfolgt durch vier auf dem Dache angebrachte Schleifbügel (Fig. 147) besonderer Konstruktion (D. R.-P. No. 117036), welche durch Federn von unten gegen die Fahrleitung gedrückt werden und sich beim Wechsel der Fahrtrichtung selbstthätig in die entsprechende geneigte Lage umlegen.

Um zwischen Fahrleitung und Stromabnehmer eine möglichst grosse Anzahl von Berührungspunkten zu erhalten, besteht die Fahrleitung aus mehreren parallel nebeneinander mit geringem Ab-

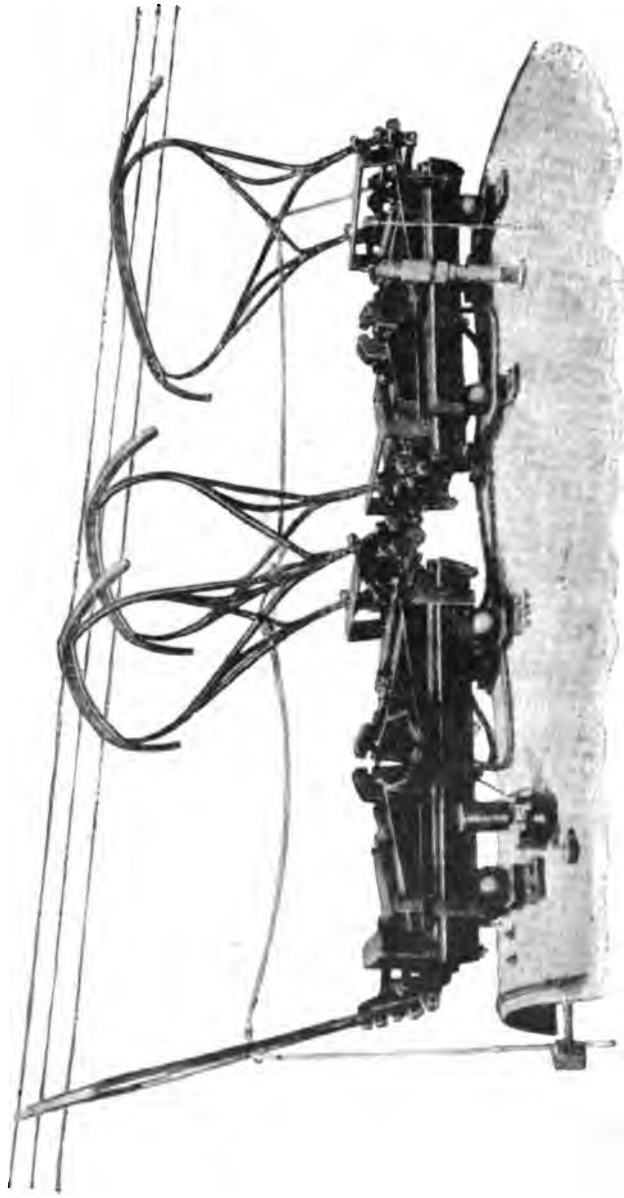


Fig. 147.

stande ausgespannten, je 8 *mm* starken Kupferdrähten, welche gegeneinander nicht isoliert sind. Diese Leitung wird an besonderen Isolatoren derart aufgehängt, dass ihr tiefster Punkt noch mindestens 4900 *mm* über Schienenoberkante liegt. Das »Profil des lichten Raumes« bleibt also gänzlich frei.

Die Lokomotive besitzt zwei Hauptstrommotoren mit 800 Umdrehungen in der Minute, welche einerseits unmittelbar auf den Laufradachsen gelagert, anderseits an dem Untergestell derart federnd aufgehängt sind, dass nur etwa ein Achtel des Motorgewichtes als nicht abgefederte Last auf die Achse wirkt. Der Antrieb der Laufachsen erfolgt mittels eines Zahnräderpaares, dessen Übersetzungsverhältnis 1 : 3 beträgt. Das auf der Ankerwelle sitzende Triebrad besteht aus Phosphorbronze, das grosse zweiteilige Rad auf der Laufradachse dagegen aus Stahlguss. Die Zähne sind auf Spezialmaschinen gefräst. Zum Schutz gegen das Eindringen von Sand und anderen Unreinlichkeiten, sowie zur Ermöglichung einer ausgiebigen Schmierung, sind die Zahnräder mit einem Schutzkasten aus Eisenblech umgeben.

An der einen Stirnwand im Innern des Führerhauses (Fig. 148) ist der Fahrschalter angebracht und die Einrichtung desselben derart getroffen, dass sowohl vorwärts als auch rückwärts in gleicher Weise gefahren werden kann.

Die verschiedenen Geschwindigkeiten werden durch verschiedenartige Schaltung der Motoren (Serien-Parallelschaltung), sowie durch Änderung der Stärke des magnetischen Feldes erreicht. Für die geringeren Fahrgeschwindigkeiten werden die Motoren hintereinander, für die grösseren parallel geschaltet.

Die Gesamtleistung der beiden Motoren zusammen beträgt 300 eff. PS und der Stromverbrauch bei dieser Leistung ca. 550 Ampère bei 500 Volt.

Die für die Luftdruckbremse und Signalpfeife erforderliche Druckluft wird, wie schon bemerkt, durch eine mittels besonderen Motors betriebene Luftpumpe beschafft, welche in einem der schrägen Kästen untergebracht ist. Die Luftpumpe besitzt einen Hoch- und einen Niederdruckcylinder und liefert Druckluft mit einer Endspannung von 6 Atm. Überdruck. Sobald diese Spannung im Hauptluftbehälter erreicht ist, wird der Pumpenmotor selbstthätig ausgeschaltet und anderseits, wenn die Luftspannung im Hauptbehälter auf $5^1/_2$ Atm. gesunken ist, selbstthätig wieder eingeschaltet.

Damit die Lokomotive auch imstande ist, Gleisstrecken zu befahren, auf denen aus irgend welchen Gründen eine Stromzuführung unmöglich ist, besitzt dieselbe an den beiden Kopfseiten neben dem Zughaken je eine Kontaktdose, mittels deren sie an eine auf einem besonderen Tender mitgeführte Akkumulatorenbatterie angeschlossen

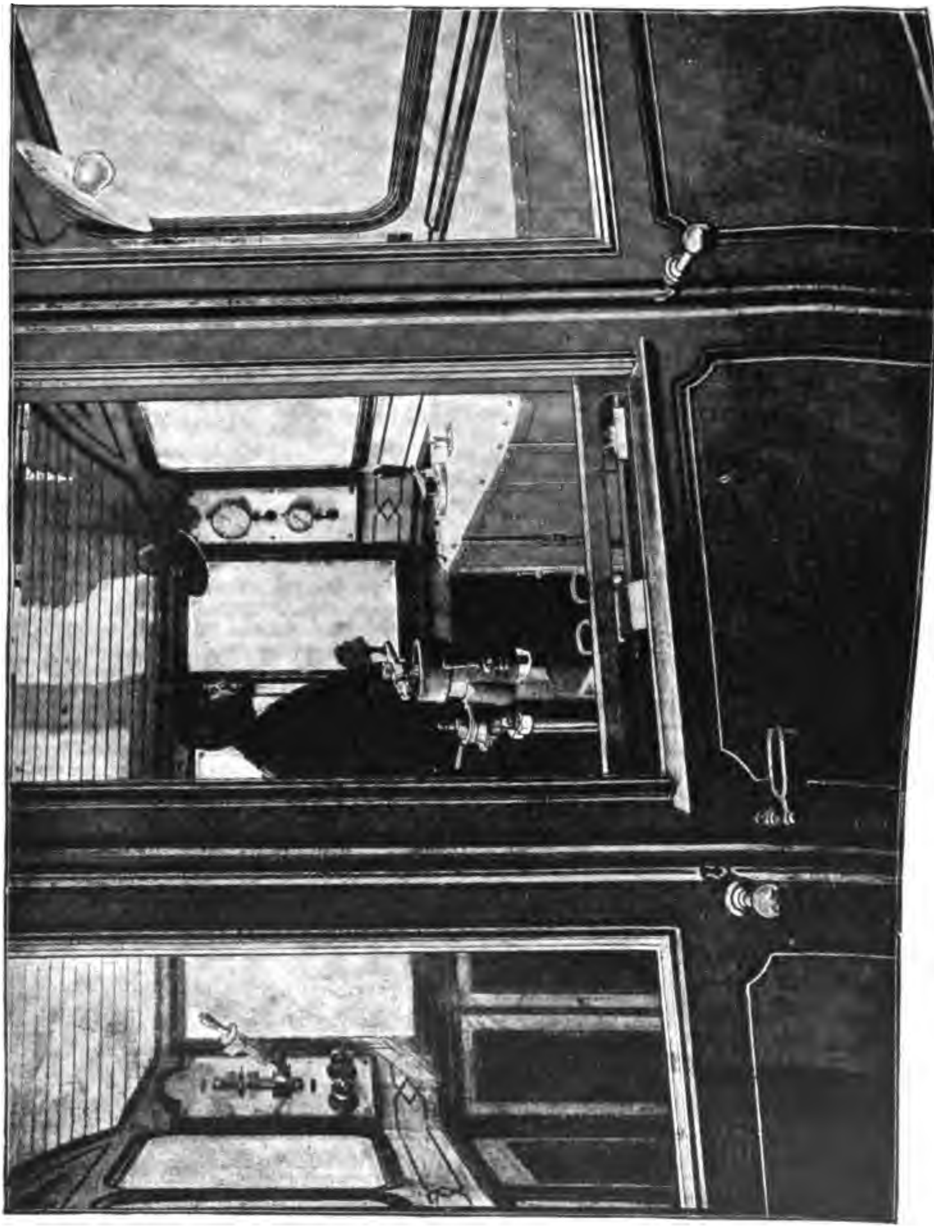


Fig. 148.

werden kann. Die Herstellung der elektrischen Verbindung mit dem Batterie-Tender geschieht in ganz ähnlicher Weise wie die Kuppelung der Luftdruckbremsschläuche.

In den vier Ecken des Führerhauses befinden sich die erforderlichen Messinstrumente, wie Volt- und Ampèremeter, Schalthebel, Ausschalter, auf Tafeln montiert, sowie die für die Luftdruckbremse nötigen Manometer.

Die Beleuchtung der Lokomotive erfolgt durch zehn elektrische Glühlampen, von denen je fünf in einen Stromkreis hintereinander geschaltet sind. Die Verteilung der Lampen ist folgende:

Die über den vier Puffern angebrachten Signallaternen sind mit je zwei Glühlampen versehen, während das Führerhaus durch zwei Glühlampen erleuchtet wird. Die beiden Lampen jeder Signallaterne gehören mit je einer der Führerhauslampen verschiedenen Stromkreisen an, sodass also beim Schadhaftwerden des einen Stromkreises die Lokomotive immer noch ausreichend beleuchtet ist. Diese Schaltungsweise bietet also grösste Betriebssicherheit bezüglich der Signallaternen.

Die Hauptabmessungen der Lokomotive sind aus nebenstehender Zeichnung (Fig. 149) zu ersehen.

Wie die durch den Königlichen Eisenbahn-Betriebsinspektor Herrn Loch in Gleiwitz mit einer von der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft gelieferten Vollbahnlokomotive angestellten Versuche[1]) gezeigt haben, stellt sich der Rangier- und Verschubdienst auf Bahnhöfen bei elektrischem Betrieb um 40% billiger als bei Dampfbetrieb. Dieses ausserordentlich günstige Ergebnis hat seine Begründung hauptsächlich darin, dass bei elektrischem Betrieb infolge der Eigenart dieses Systemes sowohl der Kraftbedarf als auch die Instandhaltungskosten wesentlich geringer sind, als bei Dampfbetrieb, und dass ferner bei erstgenanntem System ein Mann für die Bedienung vollkommen ausreicht, während bei der Dampflokomotive neben dem geschulten Lokomotivführer stets noch ein Heizer erforderlich ist.

Die in Fig. 150 dargestellte Rangier-Lokomotive wurde von der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin für die Königl. Eisenbahn-Werkstätten-Inspektion in Gleiwitz in Oberschlesien geliefert. Dieselbe hat ein Gewicht von 9 *t* und kann bei einer Geschwindigkeit von 5 *km*/Std. eine Zugkraft von 800 *kg* hervorbringen. In dieser Lokomotive finden wir die typische Form der meisten elektrischen Lokomotiven wieder, welche darin besteht,

[1]) »Das Verschubgeschäft in der Hauptwerkstatt Gleiwitz«, Glasers Annalen für Gewerbe und Bauwesen, Heft 10 vom 15. Mai 1900, S. 203 ff.

dem Führer einen geschützten Stand in der Mitte des Gefährtes zu geben, damit er von seinem Standpunkt aus die Strecke nach vorn und hinten gleich gut übersehen kann. Die hier dargestellte Loko-

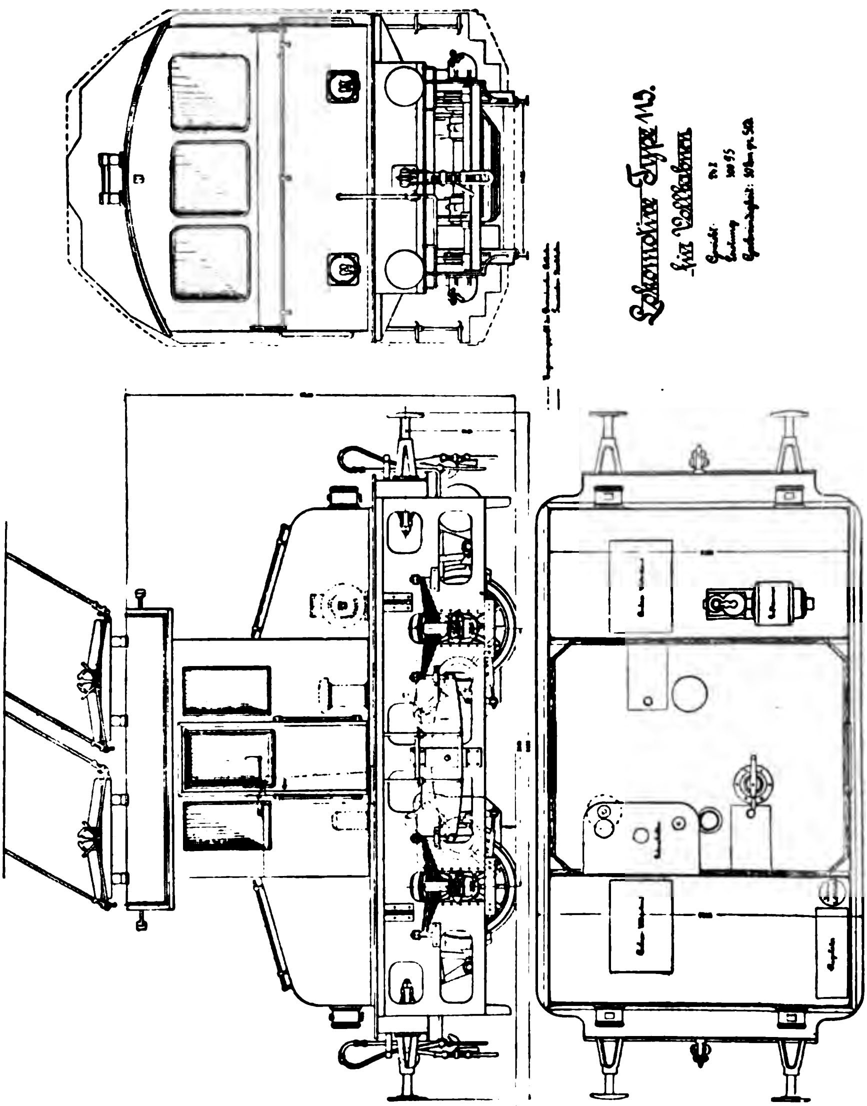


Fig. 149.

motive hat äusserlich viel Ähnlichkeit mit den Dampflokomotiven. Der Stromabnehmer ist hier als umlegbarer Bügel ausgebildet, weil er so den geforderten Verhältnissen am besten entsprechen konnte.

Die beiden Achsen sind durch Kurbelstange gekuppelt, wodurch die Adhäsion der Lokomotive selbst dann vollständig ausgenutzt wird, wenn die Adhäsionsverhältnisse des einen Räderpaares stellenweise ungünstiger sein sollten, als die des anderen. Die vollständig symmetrische Anordnung bei beiden Horizontalachsen ist ein weiteres Merkmal der elektrischen Lokomotiven.

Der Radstand beträgt 1500 *mm*, die ganze Länge zwischen den Puffern 5300 *mm*, die grösste Breite 2280 *mm* und die Höhe bis zum Fusse des Auslegers 3217 *mm*. Die Spurweite ist normal.

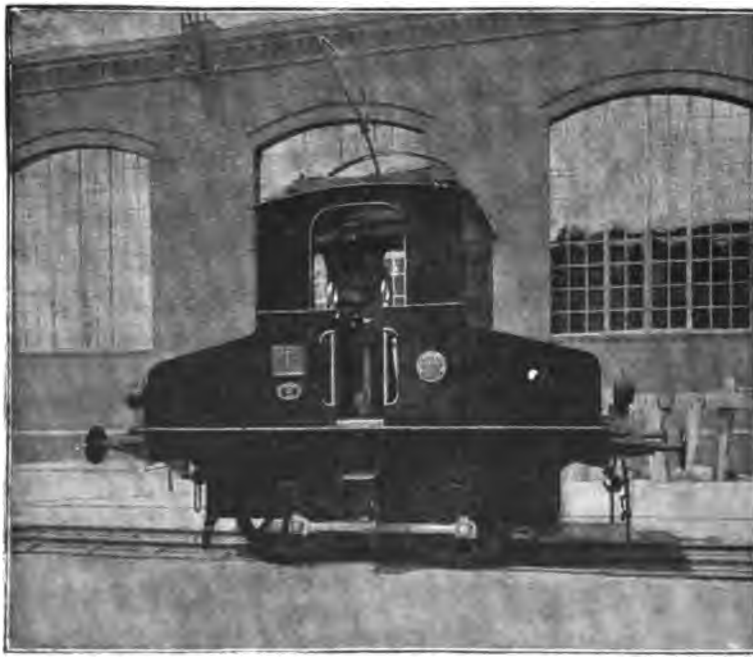


Fig. 150.

Eine vergleichende Betriebskosten-Berechnung für den Verschubdienst mittels dieser elektrischen Lokomotive in der Eisenbahn-Hauptwerkstätte Gleiwitz giebt der königl. Eisenbahn-Betriebs-Inspektor Loch in Gleiwitz.

Die Lokomotive wird durch einen Elektromotor V. N. B. 125 betrieben, der durch zwei Rädervorgelege mit den Übersetzungen 1 : 5 und 1 : 4,5 auf die eine Lokomotivachse wirkt. Die Welle des zweiten Vorgeleges ist ohne Federung in dem Lokomotivgestell in der Höhe der Laufachsen gelagert. Der Elektromotor ruht an einem Ende mit zwei Lagern auf dieser Zwischenwelle und ist am anderen

Ende federnd an einer Querverbindung des Lokomotivrahmens aufgehängt.

Zum Anlassen des Motors und zur Regulierung der Geschwindigkeit der Lokomotive ist ein Fahrschalter auf dem Führerstande angebracht. Die Lokomotive ist ausserdem mit Handbremse und einer Luftdruckpfeife ausgerüstet; zur Beleuchtung sind Glühlampen verwendet.

Der elektrische Strom wird von den in 4725—5300 *mm* Höhe über den Gleisen aufgehängten Fahrdrähten durch den Schleifbügel entnommen, der sich beim Wechseln der Fahrrichtung selbstthätig umlegen kann. Der an den Fahrdrähten vorbeischleifende Teil dieses Bügels war bei den ersten Ausführungen aus Aluminium hergestellt, um die Fahrdrähte möglichst wenig abzunutzen. Es hat sich jedoch ergeben, dass das Aluminium selbst sich so schnell abnutzte, dass es in kurzer Zeit erneuert werden musste. Infolgedessen ist jetzt der Aluminiumstreifen durch einen Stahldraht ersetzt worden, der sich gut bewährt hat.

Bei der Ausschreibung der Lokomotive war verlangt worden, dass sie imstande sei, bei 1 *m* Geschwindigkeit in der Sekunde einen Wagenzug von 100 *t* auf wagerechtem Gleise mit Sicherheit fortzuziehen und dass der Motor eine Änderung der Fahrgeschwindigkeit zwischen 0,75 und 2 *m* in der Sekunde zulasse. Eine grössere Änderung der Geschwindigkeit war nach den vorher von den Elektrizitätsfirmen gemachten Angaben bei Verwendung eines einzigen Motors nicht ausführbar.

Der zur Verfügung stehende elektrische Strom hatte am Schaltbrette im Maschinenhause eine Spannung von 220 Volt, und es musste zum Betriebe der Lokomotive der eine Aussenleiter des Dreileitungssystemes mit den Schienen der Gleise verbunden, also an Erde gelegt werden.

Bei verschiedenen Probefahrten hat sich folgender Stromverbrauch der Lokomotive ergeben:

	Ampère		Volt
1. Die leere Lokomotive			
beim Anfahren	20	bei	210
im Beharrungszustande bei grösster Geschwindigkeit	22—24	»	210
2. Die Lokomotive beim Schieben und Ziehen von 12 Wagen = 78,76 *t*			
beim Anfahren	70—60	»	200
im Beharrungszustande bei grösster Geschwindigkeit	40—35	»	200
3. Die Lokomotive beim Ziehen von 16 Wagen = 106,66 *t*			

	Ampère		Volt
beim Anfahren	75—70	bei	195—200
im Beharrungszustande	43—50	»	200

Die erzielte grösste Geschwindigkeit betrug:

bei Leerlauf . . . . 2,14 *m* in der Sekunde
und bei voller Belastung . . . . . 1,04 » » » »

Es hat sich jedoch beim Betrieb der Lokomotive, namentlich beim Zurücklegen längerer Wege, bald ergeben, dass die erzielte Geschwindigkeit nicht ausreicht. Da die Schaltung des Motors eine Vergrösserung der Geschwindigkeitsgrenzen nicht zulässt, so wurde durch Erhöhung der Betriebsspannung des elektrischen Stromes unter Zuhilfenahme einer Zusatz-Dynamomaschine die Spannung in dem Leitungsnetze der Lokomotive von 220 auf 330 Volt erhöht. Diese Änderung hat sich sehr gut bewährt und seitdem wird daher die Lokomotive mit der höheren Spannung betrieben. Versuchsfahrten haben dabei folgenden Stromverbrauch ergeben:

	Ampère		Volt
1. Die leere Lokomotive			
beim Anfahren	55—50	bei	310
im Beharrungszustande bei grösster Geschwindigkeit	20—19	»	315—310
2. Die Lokomotive beim Ziehen von 8 Wagen = 46,8 *t*			
beim Anfahren	60—50	»	300
im Beharrungszustande bei grösster Geschwindigkeit	30—25	»	310
3. Die Lokomotive beim Ziehen von 12 Wagen			
beim Anfahren	60—40	»	310
im Beharrungszustande bei grösster Geschwindigkeit	26—28	»	310
4. Die Lokomotive beim Ziehen und Schieben von 18 Wagen = 106 *t*			
beim Anfahren	80—60	»	300
im Beharrungszustande bei grösster Geschwindigkeit	28—35	»	300—294

Die erzielten Geschwindigkeiten betrugen:

beim Leerlauf der Lokomotive . . . 3,38 *m* in der Sekunde
mit einer Last von 25—30 *t* . . . 2,8 » » » »
» » » » 46,8 *t* . . . . 2,55 » » » »
» » » » 106 *t* . . . . . 1,9 » » » »

Die Beschaffungskosten für die elektrische Lokomotive betrugen 8000 *M*, für das Leitungsnetz 14000 *M*, zusammen also 22000 *M*. In dem Angebot war ein Gewicht von 6 *t* angegeben, die fertige Lokomotive wiegt aber 9150 *kg*, sodass der richtige Preis der Loko-

motive wohl zu 10000 ℳ angenommen werden kann. Wird das Leitungsnetz auf sämtliche Gleise des Werkstättenhofes ausgedehnt, so werden dafür noch 7500 ℳ aufzuwenden sein, sodass mit einem Anlagekapital von 10000 + 14000 + 7500 = 31500 ℳ gerechnet werden kann.

Für die Bedienung der elektrischen Lokomotive werden aufgewendet:

Gehalt, Wohnungsgeld, Stellenzulage für einen Maschinenwärter im Jahre 1280 + 180 + 80 . . . . . . =	1540 ℳ
oder auf den Tag $\frac{1540}{300}$ . . . . =	5,13 »
ferner Lohn für einen Arbeiter zum Wagenkuppeln . =	2,40 »
zusammen	7,53 ℳ

Die Lokomotive ist täglich etwa 8 Stunden im Betrieb. Mit Rücksicht auf die vielen Pausen im Verschubdienste wird man den mittleren Stromverbrauch nicht höher als 16 Ampère annehmen dürfen.

Dies macht auf den Tag $\frac{8 \cdot 16 \cdot 330}{1000} = 42{,}24$ Kilowattstunden zu 11 ₰ . . . . =	4,65 ℳ
Für Ausbesserungen sind aufgewendet im Vierteljahr Dezember bis Februar etwa	7,50 »
für Schmier- und Putzmaterial etwa	11,— »
zusammen	18,50 ℳ
Rechnet man jedoch für Ausbesserungen jährlich 4 % des Anlagekapitals, also 0,04 · 31500 . . . . . . =	1260 ℳ
und für Schmier- und Putzmaterial	100 »
zusammen	1360 ℳ
so kommen auf den Tag $\frac{1360}{300}$ . . . . =	4,53 ℳ
Demnach kostet der Betrieb der elektrischen Lokomotive auf den Tag 7,53 + 4,65 + 4,53 . . . =	16,71 ℳ
Bei einer Amortisation von 5 % des Anlagekapitals kommen noch hinzu $\frac{0{,}05 \cdot 31500}{300}$ . . . . =	5,25 ℳ

Eine Dampflokomotive dagegen würde bei 31000 *kg* Leergewicht etwa 35000 ℳ kosten.

Für die Bedienung sind aufzuwenden:

An Gehalt (2. Stufe) und Wohnungsgeld für einen Lokomotivführer 1400 + 180 . . . . =	1580 ℳ
desgleichen für einen Lokomotivheizer 1100 + 180 . =	1280 »
zusammen	2860 ℳ
mithin auf den Tag $\frac{2860}{300}$ . . . . =	9,53 »

ferner Rangierdienstzulage und Prämien für den Führer
auf den Tag 8 · 0,125 . . . . = 1,00 ℳ
für den Heizer 8 · 0,088 . . . . = 0,70 »

zusammen 1,70 ℳ

Dazu kommt noch der Lohn für einen Arbeiter zum
Wagenkuppeln auf den Tag . . . . = 2,40 ℳ

Der Materialaufwand beträgt bei achtstündigem Dienst täglich:
für Kohlen etwa 150 + 8 · 40 = 470 *kg* zu 0,009 ℳ = 4,23 ℳ
für Schmier- und Putzmaterial etwa 6 *kg* zu 0,4 ℳ = 2,40 »

zusammen 6,63 ℳ

Für Ausbesserungen sind nach den Ergebnissen des Betriebes von 1898—1899 bei Lokomotiven auf das Jahr etwa 0,066 des Anlagekapitals zu rechnen, also für die Lokomotive 0,066 · 35000 . . . . . . = 2310 ℳ

mithin auf den Tag $\frac{2310}{300}$ . . . . = 7,70 ℳ

Demnach kostete der Betrieb einer Dampflokomotive für den Verschubdienst in der Hauptwerkstätte auf den Tag etwa 9,53 + 1,70 + 2,40 + 6,63 + 7,70 . = 27,96 ℳ

Für Amortisation wird man bei der Dampflokomotive 7 % des Anlagekapitals rechnen müssen, also kommen dafür zu obigem Betrage noch hinzu auf den Tag

$\frac{0,07 \cdot 35000}{300}$ . . . . = 8,17 ℳ

Wollte man die Arbeit der Lokomotive durch Menschen ausführen lassen, so müsste man mindestens zwölf Arbeiter und einen Kolonnenführer einstellen. Dieselben beanspruchen an Lohn auf den Tag 12 · 2,20 + 2,60 = 29,— ℳ
Der elektrische Betrieb stellt sich also am billigsten.

Eine für grössere Leistungen bestimmte, im Rangierdienst oder im Fahrdienst auf Vollbahnen verwendbare zweiachsige elektrische Lokomotive ist durch die Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft gebaut und auf dem Bahnhof Lagerhof der Zweigbahn Lagerhof—Gesundbrunnen bei Berlin in Verwendung gekommen. Die Maschine hat normale Spurweite und ist auch sonst unter Zugrundelegung der Normalien für die Betriebsmittel der preussischen Staatsbahnen, sowie der technischen Vereinbarungen des Vereins deutscher Eisenbahn-Verwaltungen hergestellt. Ihre zwei Motoren, die einerseits unmittelbar auf die Lokomotiv-Radachsen gelagert, anderseits am Untergestell derart federnd aufgehängt sind, dass nur etwa ein Achtel des Motorgewichtes als nicht abgefederte Last auf die Achsen wirkt, treiben die Laufachsen mittels eines Stirnräderpaares an.

Die Stromzuführung vermittelt eine aus drei 8 *mm* starken, in einem gegenseitigen Abstande von 150 *mm* parallel nebeneinander gespannten aus Siliciumbronzedrähten bestehende Fahrdrahtleitung und zwei auf dem Lokomotivdache angebrachte Paare von walzenförmigen Stromabnehmern, die durch Federn nach aufwärts gegen die Zuleitungsdrähte gedrückt werden.

Diese Lokomotive vermag einen 120 *t* schweren Zug auf wagerechter Bahn mit einer Geschwindigkeit von 50 *km* in der Stunde zu befördern und besitzt zu diesem Zwecke ein Gesamtgewicht von 24 *t*. Sie repräsentiert also ein Beispiel jener erstrebenswerten Lokomotiven, welche keine tote Last kennen, da ihr Konstruktionsgewicht nicht grösser ist, als das für die Maximalleistung erforderliche Adhäsionsgewicht. Die beiden Motoren sind zusammen imstande, eine effektive Leistung von 300 PS abzugeben.

Zum Signalgeben besitzt die Lokomotive eine den Normalien entsprechende Pfeife, welche durch Druckluft von 6 Atmosphären betrieben wird. Die Beschaffung dieser Druckluft erfolgt durch einen besonderen auf der Lokomotive selbst untergebrachten Motor-Kompressor.

Die von der Elektrizitäts-Aktiengesellschaft vorm. Schuckert & Co., Nürnberg gebaute Vollbahnlokomotive, welche für die Wiener Lokalbahnen bestimmt ist, ist in Fig. 151a, b, c dargestellt. Die Lokomotive soll dazu dienen, die in der Ziegelstation Vösendorf mit den aus den umliegenden Ziegeleien hereingebrachten Ziegelwagen gebildeten Züge nach Wien zu befördern. Ein Güterzug besteht aus 12 Ziegelwagen à 13 *t* Bruttogewicht. Die Maximalsteigung beträgt $26^{0}/_{00}$, die Fahrgeschwindigkeit 25 — 30 *km* pro Stunde. Die Stromzuführung erfolgt durch eine oberirdische über dem Gleise gespannte Leitung, an welcher zwei auf dem Dache der Lokomotive angebrachte Stromabnehmer mit Schleifbügeln gleiten. Die Lokomotive besteht aus zwei Drehgestellen und einem auf denselben ruhenden Oberkasten mit Führerhaus. Jedes Drehgestell ist mit zwei 150 pferdigen Motoren ausgerüstet, welche je eine Achse mittels einfacher Zahnradübersetzung antreiben. Zu beiden Seiten des Führerhauses sind Kammern angeordnet, welche die Widerstände, Sandstreuer und sonstige Nebenteile der Lokomotive aufnehmen und nach oben durch abnehmbare Deckel geöffnet werden können, sodass die Motoren auf diesem Wege leicht zugänglich sind. Im Führerhause sind ausser dem die Motoren in Serien-Parallelschaltung regulierenden Kontroller folgende Apparate untergebracht:

Eine Handbremse, ein automatischer Maximalausschalter, eine Bleisicherung und Blitzschutzvorrichtung, sowie die komplette Einrichtung einer Westinghouse-Luftdruckbremse mit Motor-Kom-

pressor und den für letzteren notwendigen elektrischen Schaltapparaten.

Der Stromabnehmer auf dem Wagendache läuft selbst bei höherer Fahrgeschwindigkeit funkenlos an der Leitung, ist leicht zu unterhalten und arbeitet mit ununterbrochener, nie aussetzender Schmierung, wodurch das Geräusch und die Abnutzung auf ein Mindestmass heruntergedrückt werden.

Das Reibungsgewicht der Lokomotive beträgt 40 *t*, die grösste Zugkraft an den Triebrädern 6000 *kg*.

Die Pariser Welt-Ausstellung zeigte die verschiedensten elektrischen Lokomotiven deutscher, französischer und amerikanischer Firmen, deren Beschreibung hier zu weit führen würde. Durch diese Ausführungen sind die heutigen konstruktiven Bestrebungen gekennzeichnet, sodass ein Hinweis auf weitere Litteratur die nötigen Ergänzungen giebt:

»Elektrische Vollbahn-Lokomotive der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft auf der Pariser Weltausstellung« in »Die Elektrizität« 1900, Heft 18. »Neuere elektrische Lokomotiven« Z. d. V. d. Ing. 1900, Heft 12, S. 376.

Je kleiner die Spurweite einer Bahn ist, um so sorgfältiger müssen die Betriebsmittel gebaut sein und um so schwieriger gestaltet sich die Konstruktion der Zuggefährte. Da z. B. das preussische Kleinbahngesetz selbst Spuren von ca. 60 *cm* vorsieht, musste man daran gehen, elektrisch betriebene Gefährte für diese Spur zu bauen.

Die gewöhnliche Aufhängung der Motoren an den Achsen lässt sich für Motorwagen bei 60 *cm* Spur schwer durchführen, wenn man nicht zu der Transmission mittels Schnecke greifen will. Es ist für Bahnen mit derartig geringer Spur demnach richtiger, besondere Lokomotiven statt Motorwagen anzuwenden und kann in dieser Beziehung auf die bei der Budapester Millennium-Ausstellung von der Firma Ganz & Co., im Verein mit der Firma Rossemann & Kühnemann, beide in Budapest, verwiesen werden.

Das in Fig. 152 dargestellte Bild zeigt diese Bahn in photographischer Ansicht. Die Lokomotive zog drei Anhängewagen und bewältigt so den Verkehr innerhalb des Ausstellungsgeländes. Die grösste Steigung dieser Bahn war 20‰. Die in Fig. 152, 153a und 153b schematisch gezeigte Lokomotive besass zwei Achsen, deren jede von einem Gleichstrommotor mittels doppelten Zahnradvorgeleges angetrieben wurde. Da die kleine Spurweite von 60 *cm* nicht gestattet, die Motoren nach gebräuchlicher Art zwischen die Laufräder in das Untergestell einzulassen, so wurden diese direkt beim Führerstand im Wageninnern angeordnet. Jeder Motor erhält einerseits auf

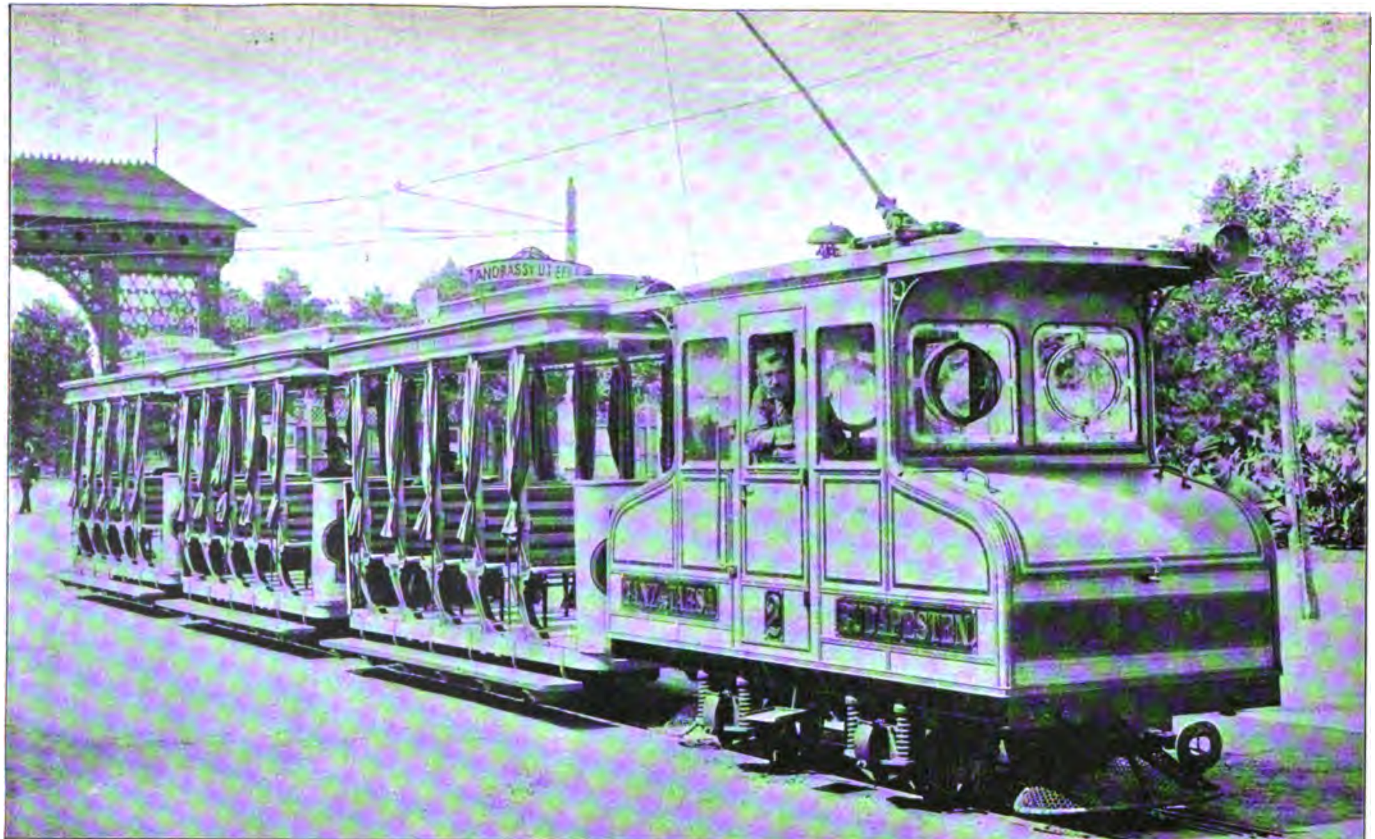


Fig. 152.

der Vorgelegeachse, anderseits auf dem Untergestell der Lokomotive eine federnde Unterstützung. Diese Art der Motoren-Aufhängung

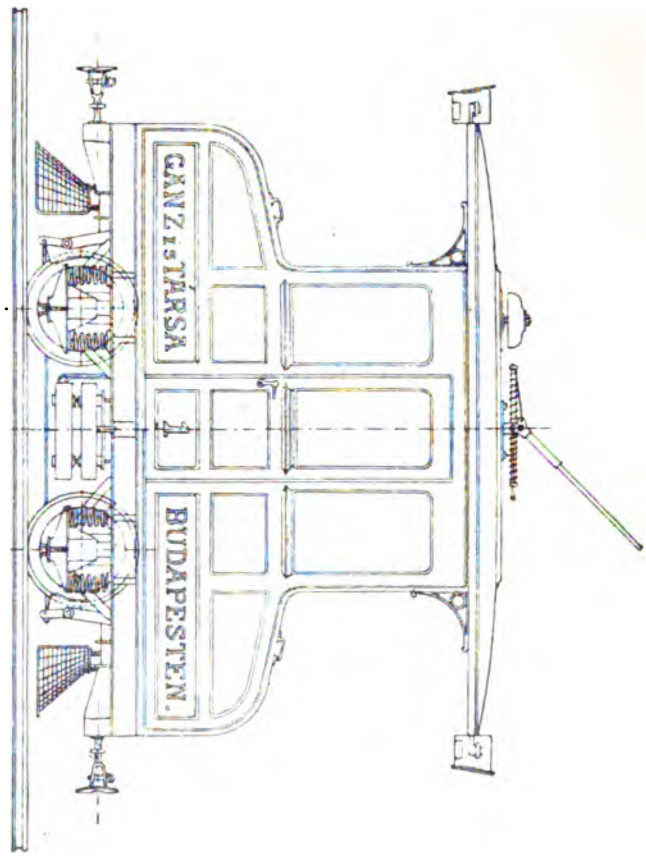


Fig. 153 a.

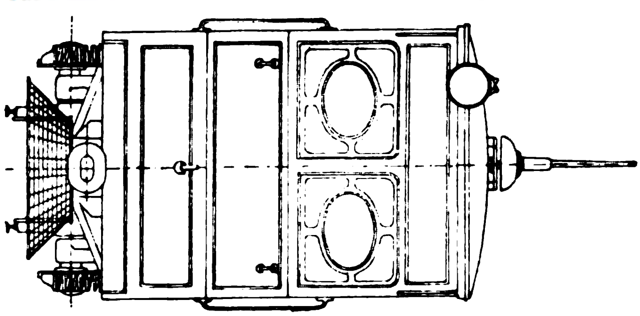


Fig. 153 b.

hat den Vorteil, dass die Instandhaltung und Reinigung der Motoren infolge der bequem zugänglichen Anordnung sehr erleichtert ist —

ein Vorteil, der bei dem sozugen ununterbrochenen Betriebe der Ausstellungsbahn ganz besonders hervortrat. Die Motoren sind vierpolig; das Magnetgestell ist zweiteilig und aus Stahlguss ausgeführt; der Ringanker besitzt einen Durchmesser von 400 *mm*; die Windungen sind an der Kommutatorseite so verbunden, dass die Stromzuführung zu den Motoren durch zwei um 90° versetzte Kohlenbürsten erfolgt. Die Ankerwelle ist aus Stahl, ihre Zapfen sind gehärtet, die Lager mit Weissmetall ausgegossen. Die Übersetzung der Motorwelle auf die Laufradachse ist

$$\frac{14}{68} \times \frac{68}{49} = \frac{1}{3{,}5}.$$

Sämtliche Räder sind aus Stahlguss und verschalt.

Die Lokomotive besitzt einen Handregulator, welcher es dem Führer ermöglicht, die Motoren parallel oder in Serien zu schalten, um hierdurch die Fahrgeschwindigkeit verändern zu können. Die Veränderbarkeit der letzteren wird überdies noch durch Anlass- und Nebenschluss-Widerstände, die als feuersichere Blattwiderstände mit Asbest-Isolierung ausgeführt sind, derart erhöht, dass zwölf Stellungen erreicht werden konnten; überdies ist für die Umsteuerung auch ein besonderer Umschalter angebracht.

In den Figuren 154a und 154b ist die Aufhängung der Motoren gezeigt. Die Centralen zwischen den beiden Zahnradpaaren sind

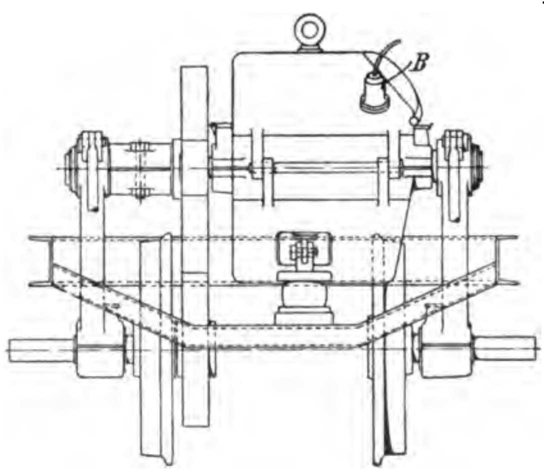


Fig. 154a.

einmal durch das Motorgestell selbst und zum anderen auch durch besonders vorgesehene Arme stets in richtiger Entfernung gehalten.

Die Lokomotiven waren mit je zwei 28pferdigen Motoren für 300 Volt Betriebsspannung ausgerüstet und haben ein Gewicht von

4,5 *t*; sie ziehen gewöhnlich drei bis vier offene Personenwagen von 1,2 *t* Gewicht für je 20 Personen und fahren mit 40 Ampère Anlaufstrom leicht an.

Die Ausstellungsbahn, welche mit zwei Gleisen die Ausstellungs-Ringstrasse entlang lief, wurde von zwei Lokomotiven und sechs bis acht Wagen der geschilderten Form während des ganzen Tages befahren. Den erforderlichen Strom (300—330 Volt Betriebsspannung) lieferte je eine Maschine mit einer normalen Leistungsfähigkeit von

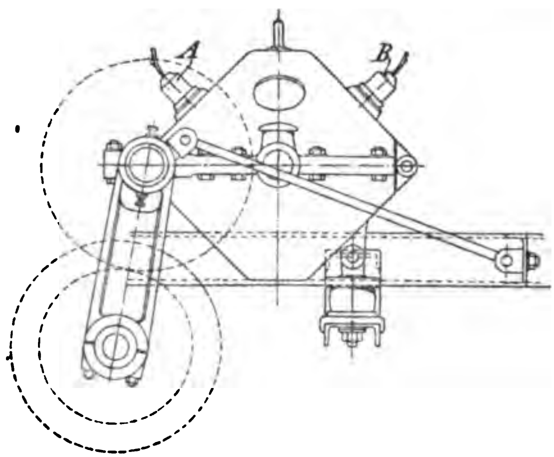


Fig. 154 b.

33000 Watt bei 250 Minuten-Umdrehungen. Der Strom wurde mittels Kontaktrolle abgenommen.

Lokomotiven dieser und ähnlicher Form sind von der Firma Ganz & Co. auf der Grubenbahn Baglyasalja, der elektrischen Bahn Maros — Szlatina und der Budapest—Rákospalotaer Bahn im Betrieb.

Wohl jede Firma ist heute in der Lage, geeignete Lokomotivtypen aufzuweisen, die sich für den einen oder anderen Zweck bestens bewährt haben.

VII.

Grosseisenbahnen.

I. Allgemeines.

Nachdem sich die Elektrizität der Kleinbahnen mit Erfolg bemächtigen konnte und nachdem auch für die in den vorhergehenden Kapiteln beschriebenen Betriebsarten ein Vorzug bei Anwendung der Elektrizität erkannt werden musste, lag es nahe, auch auf die Vollbahnen mit eigenem Bahnkörper, die sogenannten Haupt- und Nebenbahnen, überzugehen. Wir befinden uns heute in diesem Übergangsstadium und wollen nunmehr sehen, welche Anstrengungen von Seiten der Industrie gemacht wurden, um sich dieses neue Feld gänzlich zu erobern. Bis vor kurzem war uns der Amerikaner einen grossen Schritt vorausgeeilt, weil Neuerungen im Eisenbahnwesen wegen des Privatbesitzes der Eisenbahnen dort schneller zur Durchführung gelangen können, als bei uns, wo der Staat mit seiner naturgemässen Bedächtigkeit das Grosseisenbahnwesen beherrscht. Indess ist auch bei uns das Interesse für die Haupt- und Nebenbahnen bereits so hoch gespannt, dass es zur endgiltigen Entscheidung nur noch weniger Jahre bedürfen wird. Der amerikanische Vorsprung wird alsdann langsam, aber sicher eingeholt werden.

Der elektrische Betrieb auf den Haupteisenbahnen würde bei uns vom Standpunkte der Landesverteidigung Bedenken haben können. Indess sind die Vorteile der elektrischen Betriebsführung so bedeutende, dass militärische Rücksichten dagegen nicht aufkommen können, sobald die Prüfung der wirtschaftlichen und technischen Fragen zu Gunsten der elektrischen Betriebsweise endgiltig erledigt sein wird.

Die Entwickelung elektrisch betriebener Klein- und Strassenbahnen der letzten Jahre drängt nicht allein dem Fachmann, sondern auch dem Laien das unabweisbare Gefühl auf, dass es technisch möglich und wirtschaftlich erreichbar sein müsste, auch unsere bestehenden Vollbahnen für elektrischen Betrieb umzuwandeln.

Dass dies technisch möglich ist, beweisen uns die Ausführungen der letzten Jahre.

Unsere Eisenbahn-Techniker scheuen noch mit Recht vor der Erkenntnis zurück, dass der elektrische Betrieb auf u n s e r e n grossen Eisenbahnen ebenso wirtschaftlich sein könnte, wie der mittels Dampf-

lokomotiven betriebenen langen und spärlich laufenden Züge. Diese Anschauung ist richtig und wird stets richtig bleiben; denn niemals wird es möglich werden, lange Züge in grossen Zeitintervallen elektrisch so billig zu betreiben, wie durch eine Dampflokomotive. Aber die Anschauungen betreffs der Beförderung selbst beginnen sich dahin auszubilden, dass es nicht mehr als die günstigste und beste Betriebsart angesehen werden kann, wenn lange Personen- oder Güterzüge in grossen Intervallen verkehren. Hierbei ist zu beachten, dass die Anlage, die Erhaltung und die Bewachung der Gleisanlagen und der Unter- und Oberbauten genau dieselbe ist, ob täglich 10 oder 50 Züge, oder noch mehr die Strecke benutzen. Dass Brücken und dergleichen wesentlich leichter und dadurch billiger hergestellt werden können, wenn statt langer Züge nur kurze oder gar einzelne Wagen dieselben befahren, kann ausserhalb dieser Betrachtungen bleiben, weil man damit rechnen muss, dass bei Umwandlung vorhandener Dampfbahnen in elektrischen Betrieb, Minderkosten vorhandener Baulichkeiten nicht in Betracht kommen können, sondern nur bei Neubauten. Kurze Züge brauchen natürlich nur leichte Lokomotiven, und wenn wir zunächst auch beim elektrischen Betriebe mit Lokomotiven bezw. Lokomotivmotorwagen rechnen, so geschieht dies, um den naturgemäss erforderlichen Übergangszustand zu berücksichtigen.

Die gegenwärtige Art des Personenverkehrs auf unseren Eisenbahnen entspricht nicht mehr den Anforderungen der Neuzeit. Die Länge der Fahrzeit und die zu geringe Zahl der täglichen Fahrgelegenheiten wird als hinderlich empfunden. Das Publikum beschränkt sich deshalb heute auf die unumgänglich notwendigen Fälle der Reise. Für das Geschäftsleben der Reise und den Privatverkehr würde es von unermesslichem Vorteile sein, wenn durch Schaffung schnellerer und billigerer Verkehrsmittel, namentlich zwischen den grösseren Städten, Verkehrserleichterungen eintreten könnten. Der Personen-Fernverkehr müsste vom Lokal- und Güterverkehre getrennt werden. Das Bedürfnis zur Herstellung elektrischer Schnellbahnen zur direkten Verbindung der grösseren Städte, z. B. von Berlin mit Hamburg, München, Frankfurt a. M., Köln, ferner mit Paris, Brüssel, Wien, Rom und St. Petersburg macht sich immer mehr geltend.

Wenn man uns aber heute entgegenhält, dass die jetzige Art der Beförderung von Personen und Gütern die richtige ist, so kann hierfür nur das Vorhandensein der bisher gebräuchlichen Betriebsmittel ausschlaggebend sein.

Aber selbst unter Benutzung dieser hat Herr Finanz- und Baurat Wiechel von der sächsischen Staatsbahn in einem Aufsatz der (»ETZ« 1901, Heft 5) sogar für den Güterverkehr klargelegt, dass

die durch elektrischen Betrieb ermöglichte häufigere Beförderung kurzer Güterzüge auf elektrisch betriebenen Vollbahnen von wirtschaftlichem Vorteil sein wird, weil alsdann die heute überlasteten Güterbahnhöfe öfters geräumt werden können, ohne auf die Zusammenstellung langer Züge warten zu müssen.

Diese Darlegungen, vom rein betriebstechnischen, nicht elektrotechnischen, Standpunkte aus praktischen Erwägungen heraus, werden nicht verfehlen, unser Augenmerk auf die Verwirklichung der eisenbahn-elektrotechnischen Wünsche und Hoffnungen zu richten.

Thatsächlich sind bereits im ähnlichem Sinne Umgestaltungen des Dampf-Güterverkehrs gegen früher zu verzeichnen, denn durch das mächtige Anwachsen des Güterverkehrs, zu dessen Bewältigung die bisherigen Einrichtungen des Betriebes sich nicht mehr als zureichend erwiesen haben, ist eine Umgestaltung der Güterzugfahrpläne vorgenommen. Diese beruht zum Teil auf einer Trennung des Nah- und Fernverkehrs, zum Teil auf einer Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit. Die Güterzüge sollen nach Beschaffung leistungsfähigerer Dampflokomotiven die Geschwindigkeit der Fernpersonenzüge erreichen, weil auf Strecken mit starkem Verkehr eine Vereinfachung des Betriebes (namentlich die Vermeidung von Überholungen langsam fahrender Züge durch schneller fahrende) nur durch eine möglichst gleich bemessene Fahrzeit der einzelnen Züge zu erreichen ist. Zur Trennung des Nah- vom Fernverkehr erhalten die Ferngüterzüge entsprechend den Personenschnellzügen nur wenige bestimmte Haltestationen. An diesen haben sie die auf der ohne Aufenthalt durchlaufenen Zwischenstrecke von Lokalgüterzügen gesammelten Güterwagen aufzunehmen, dagegen die von den Lokalzügen zu verteilenden Wagen abzugeben. Es leuchtet ein, dass die damit durchgeführte systematische Trennung des Nah- vom Fernverkehr die einzig mögliche Form bietet, in der sich der so verschiedenartige Gütermassenverkehr auf Hauptverkehrsstrecken bewältigen lässt. Gleichzeitig bietet aber auch dieses System die Möglichkeit, durch Beschleunigung der Transportausführung eine Reihe von Vorteilen zu erzielen, die sowohl den Verkehrsinteressenten wie der Eisenbahnverwaltung zu gute kommen und die einer Einführung des elektrischen Betriebes entgegenkommen.

Die Schweiz, Italien, Norwegen, auch Österreich bietet mit den zahlreichen noch unausgenutzten Wasserkräften ein reiches Feld zum Bau elektrisch betriebener Vollbahnen, zumal Kohlen in einigen dieser Länder teuer und schlecht sind.

Die zur Zeit allerdings nur akademische Ziele verfolgenden Studien über elektrische Schnellbahnen, die neben der deutschen Studiengesellschaft für elektrische Schnellbahnen in Berlin,

auch von anderen Ländern angeregt und betrieben werden, lassen erwarten, dass in wenigen Jahren gänzlich neue Gebiete dem elektrischen Traktions-Dienst erschlossen werden.

Die Berliner Studiengesellschaft hat z. B. auf ihrem Programm die Ergründung der grösstmöglichen Geschwindigkeit, der zweckmässigsten Art der Stromerzeugung, Transformierung, Stromfortleitung und Stromabnahme zum Wagen, der Konstruktion des sichersten Unter- und Oberbaues betreffs Schienenbettung, Spurmass, Stossverbindung, Gleisentfernung, Erprobung von Steigungen und Kurven, die Ausnutzung der geeignetsten Wagentypen und dergl. mehr. Eine Probestrecke auf der Militär-Eisenbahn Berlin-Zossen befindet sich im Versuchs-Betrieb.

Beschreibungen dieser Versuchsbahn mit ihren neuartigen Betriebsmitteln befindet sich in der Z. d. V. d. Ing. 1901, Heft 36 vom 7. September 1901, S. 1261 ff. und Heft 37 vom 14. September 1901, S. 1303 ff. von O. Lasche.

Als Betriebsstrom ist hier Drehstrom von hoher Spannung, etwa 10000 bis 12000 Volt gewählt worden, der nach den Vorschlägen von Reichel & Frischmuth von drei oberirdisch geführten Kupferleitungen den Fahrzeugen zugeführt wird. Die Siemens & Halske A.-G. hat bereits durch eingehende Versuche nachgewiesen, dass es möglich ist, hochgespannten Strom von solchen Leitungen abzunehmen und im Wagen auf die gewünschte niedere Spannung zu transformieren. Als Stromquelle dient die Krafterzeugungsstätte der Berliner Elektrizitätswerke an der Oberspree. Zwei Motorwagen, die mit den erforderlichen kräftigen Maschinen ausgerüstet sind und Raum für 40 bis 50 Personen haben, werden beschafft. Als Grundlage für die Konstruktion der Wagen und ihrer Ausrüstung ist angenommen, dass mit einer Geschwindigkeit bis zu 200 *km* in der Stunde gefahren werden kann. Dementsprechend ist jeder Wagen mit vier Motoren, die zusammen 1100 bis 3000 PS abzugeben imstande sind, und mit den erforderlichen Transformatoren, Schaltapparaten u. s. w. ausgerüstet. Die Lieferung der Wagen, deren jeder etwa 22 *m* lang ist, ungefähr 90 *t* wiegt und je zwei dreiachsige Drehgestelle besitzt, war der Firma van der Zypen & Charlier, der Allgemeinen Elektricitätsgesellschaft und der Siemens & Halske A.-G. in der Weise übertragen, dass die erstgenannte Firma die eigentlichen Wagen baute, und jede der Elektrizitätsfirmen für einen der Wagen die elektrische Ausrüstung lieferte.

Es ist hoch anzuerkennen, dass deutsche Firmen, unterstützt von den höchsten Behörden, sowie von den bereitwilligst zur Ver-

fügung gestellten Geldmitteln einer Reihe von Banken, unter Zuziehung der hervorragendsten Vertreter der technischen Wissenschaften solche Versuche unternehmen, die, auch wenn nicht die angestrebte sehr hohe Geschwindigkeit als praktisch anwendbar befunden werden sollte, doch zweifellos Ergebnisse erwarten lassen, welche für die Verbesserungen und Vervollkommnungen des Schnellverkehrs von grösster Bedeutung sein werden.

Der König der Belgier beabsichtigt auf den Bau eines weiten Netzes elektrischer Eisenbahnen in Belgien hinzuwirken. Brüssel soll mit Ostende, Antwerpen mit Paris elektrisch verbunden werden. Die Fahrt von Brüssel nach Paris soll nur zwei Stunden dauern. Die Verhandlungen mit der französischen Regierung hat der König persönlich geführt. Die Kosten für das gesamte Bahnnetz sind auf etwa eine Milliarde veranschlagt.

Auf den italienischen Eisenbahnen wird, nachdem bereits im Jahre 1897 die italienische Regierung die beiden italienischen Eisenbahn-Gesellschaften des Landes bewog, die Frage der Umgestaltung der Bahntraktion auf elektrischen Betrieb und damit die Lossagung der Eisenbahn von der in Italien leidigen Kohlenfrage zu unterziehen, eine im grossen Masstabe durchgeführter Versuch zur Verwendung der Elektrizität als motorische Kraft unternommen werden, dessen Ausgang von besonderer Bedeutung für den Eisenbahnbetrieb werden kann. Es werden hier die Linien Lecco-Sondrio und Colico-Chiavenna in einer Länge von 110 *km* vollständig auf elektrischen Betrieb eingerichtet, wobei auch die Güterbeförderung in Zügen mit über 250 *t* Ladegewicht auf elektrischem Wege erfolgen wird. Auf der Linie Mailand—Gallarate—Laveno—Arona—Portoceresio, die über 100 *km* lang ist, wird die Personenbeförderung in den elektrischen Zügen mit einer Geschwindigkeit von 90 *km* in der Stunde durchgeführt werden. Zwischen Mailand und Monza verkehren bereits elektrische Motor- und Akkumulatorenwagen, ebenso zwischen Bologna und Modena, und binnen kurzem wird auch zwischen Bologna und San Felice der elektrische Betrieb im Gange sein.

Die französische Regierung hat, dem Beispiel der italienischen folgend, eine aus Eisenbahndirektoren, Professoren und Staatsingenieuren zusammengestellte Kommission eingesetzt behufs Studiums der die elektrischen Fernbahnen betreffenden Fragen, beziehungsweise jener, die bei der Einführung des elektrischen Betriebes auf bestehenden Fernbahnen auftauchen würden. Diese Kommission hat auch die Aufgabe, zu untersuchen, inwieweit Frankreichs Wasserkräfte zu dem Betriebe der Fernbahnen zugezogen werden könnten und zu diesem Zwecke schon jetzt reserviert werden müssten.

Es sind derzeit drei bis vier Strecken, wo elektrischer Fernbetrieb namentlich infolge leichter Verwendbarkeit der in der Nähe befindlichen Wasserkräfte in Aussicht genommen wurde, und zwar vor allem auf der Strecke Fayet nach Chamounix, wo der Bau der Wasseranlage schon begonnen wurde, dann auf jener von Cannes nach Mentone (155 *km*) unter Benutzung einer in der Nähe von Nizza gelegenen grossen Wasserkraft, die ebenso wie die erstere der Compagnie pour la Méditerranée gehört. Ausser diesen beiden Strecken sollen jene von Grenoble nach Gap (82 *km*), sowie jene von Grenoble nach Briançon in das Studienprogramm aufgenommen werden.

Die Vorarbeiten für den Bau einer elektrischen Bahn Wien—Pressburg sind in Angriff genommen. Die elektrische Kraft werden drei eigene Anlagen in Wien, Hainburg und Pressburg liefern. Projektiert ist ein Sechzig-Minuten-Verkehr mit vierachsigen Pullmanwagen.

Die norwegischen Staatsbahnen sind mit eingehenden Studien und Projekten beschäftigt, um der praktischen Durchführung elektrisch betriebener Vollbahnen näher zu kommen.

Ein Konsortium russischer Banken und Grosskapitalisten hat den Bau einer St. Petersburg und Moskau verbindenden Eisenbahn mit elektrischem Betriebe in Erwägung gezogen. Die in nahezu gerader Linie in vorwiegend günstigem Terrain liegende Trace hat eine Länge von 609 Werst, und wird die betriebsfähige Herstellung der doppelgleisig auszubauenden Eisenbahn einen Gesamtkostenaufwand von 98000000 Rubel beanspruchen, von welcher Summe 63000000 Rubel auf den Unter-, Ober- und Hochbau, sowie die Beschaffung der Fahrbetriebsmittel, und 13000000 Rubel für die Erstellung und Einstellung von 40 Generatoren, Stationen und die Stromleitung entfallen. Nachdem eine Fahrgeschwindigkeit von 150 *km* in der Stunde in Aussicht genommen ist, wird die Reise zwischen St. Petersburg und Moskau mit Inbegriff der circa eine Stunde in Anspruch nehmenden, auf das kürzeste bemessenen Stationsaufenthalte innerhalb von fünf Stunden ausführbar sein. Die aus fünf Wagen à 35 Sitzplätzen zusammengestellten Züge sollen in Zwischenräumen von je 10 Minuten von beiden Endstationen abgelassen werden, wodurch die Möglichkeit geboten ist, mit jedem Zuge gleichzeitig 175 Personen zu befördern.

Da es sich beim elektrischen Betrieb von Vollbahnen um beträchtliche Entfernungen handelt, ist die Arbeitsübertragung mittels hochgespannten Drehstromes eine Grundbedingung. Die Zuführung der elektrischen Arbeit zu den Zügen kann als Hoch- oder Niederspannung, als Dreh- oder Gleichstrom nach verschiedenen Systemen

erfolgen, und es sind die folgenden drei Systeme praktisch angewendet oder wenigstens praktisch versucht worden.

1. Umwandlung des hochgespannten Drehstromes in Unterstationen vermittelst feststehender Transformatoren und rotierender Umformer in Gleichstrom von mässiger Spannung. In diesem Falle erfolgt der Betrieb ganz ähnlich wie bei gewöhnlichen Strassenbahnen, nur mit jenen Änderungen in den Einzelheiten, welche durch den grösseren Masstab der ganzen Anlage bedingt sind.

2. Umwandlung des hochgespannten Drehstromes in einzelnen Unterstationen in Drehstrom von mässiger Spannung, der den Fahrzeugen durch dreifache Leitungen zugeführt wird. In diesem Falle sind wenigstens zwei besondere Leitungen nötig, wobei die Schienen die dritte bilden. Die Züge werden dann natürlich mit Drehstrommotoren ausgerüstet. Ein Beispiel dieser Art bildet die Vollbahn Burgdorf—Thun.

3. Die direkte Zuführung des hochgespannten Drehstromes mittels dreier oberirdischer Leitungen in das Fahrzeug, das mit Transformatoren und Niederspannungs-Drehstrommotoren ausgerüstet ist. Ein Beispiel dieser Art bildet die bereits erwähnte Versuchsbahn in Lichterfelde. Hier hat die Firma Siemens & Halske, A.-G. die Möglichkeit von Hochspannungsstromzuführungen bei 10000 Volt Drehstrom und Transformierung innerhalb des Gefährtes gezeigt.

4. Die gleiche Zuführung wie unter 3., wobei der Wagen mit Hochspannungsmotoren (ohne Wagentransformatoren) versehen ist. Diesbezüglich hat die Firma Ganz & Co. zu gleicher Zeit wie Siemens & Halske, A.-G. auf der Alt-Ofner Insel bei Budapest interessante Proben für elektrischen Vollbahnbetrieb mit Drehstrom von 3000 Volt gemacht, die so günstig ausgefallen sind, dass das System auf der 200 *km* langen Valtellina-Linie der Rete Adriatica zur Anwendung kommt.

Über den Wert dieser verschiedenen Methoden sind die Meinungen von Fachmännern noch nicht vollständig geklärt. Jede Methode hat ihre besonderen Vorteile, und bis diese, sowie die Nachteile gegenseitig abgewogen werden können, wozu langjährige Erfahrungen nötig sind, ist ein abschliessendes Urteil nicht möglich. Die unter 1. angeführte Arbeitsweise hat den Vorteil, dass am wenigsten Neuerungen ausprobiert zu werden brauchen, und thatsächlich ist diese Methode schon bei vielen Bahnen in Betrieb. Als neuestes Beispiel kann die Central London Railway dienen, bei welcher die Arbeitsübertragung mittels Drehstrom von 5000 Volt, die Arbeitszuführung zu den Lokomotiven mittels Gleichstrom von 500 Volt Spannung erfolgt. Gegen den grossen Vorteil der vollkommenen Geschwindigkeitsregulierung

und des bei allen Geschwindigkeiten hohen Wirkungsgrades bei Gleichstrommotoren, ist der Nachteil geltend zu machen, dass man von der Fahrleitung ziemlich starke Ströme entnehmen muss. Dieser Nachteil macht sich natürlich um so fühlbarer, je schwerer die Züge sind und mit je grösserer Geschwindigkeit gefahren werden soll. Der gleiche Nachteil haftet auch der unter 2. angeführten Arbeitsweise an, wobei nicht die leichte Regulierbarkeit und der grosse Wirkungsgrad der Motoren als ausgleichender Vorteil vorhanden ist. Wir sehen auch deshalb, dass diese Methode bisher vorwiegend für Bahnen verwendet wird, bei denen die Fahrgeschwindigkeit ziemlich konstant gehalten werden kann. Die dritte Methode hat den grossen Vorteil einer leichten Stromzuführung, lässt sich daher auf schwere Züge von grosser Geschwindigkeit gut anwenden und verspricht für den eigentlichen Schnell- und Vollbahnbetrieb der Zukunft guten Erfolg.

Die Stromzuführung zum Wagen erfolgt bisher entweder durch Oberleitungen, ähnlich wie bei Strassenbahnen, oder durch Geländerleitungen, wo neben dem Gleis eine erhöhte Stromleiterschiene angebracht ist, oder durch Niveauleitungeu, wo die stromführenden Schienen annähernd in Schienenoberkante zwischen den Gleisen oder zwischen den Schienen montiert sind. Diese letzte Stromzuführung ist die häufigste und scheint am ehesten berufen, den Zwecken zu entsprechen.

Man wird allen Bestrebungen, die auf eine vermehrte Geschwindigkeit bei elektrischem Betriebe hinarbeiten, gern entgegenhalten, dass mit neueren Dampflokomotiven die gleichen Geschwindigkeitsgrenzen erreichbar geworden sind. Wenigstens berichten einige Eisenbahnverwaltungen über neue Lokomotivtypen, die dieser Frage gerecht werden sollen.

Die Railroad Gazette berichtet z. B. über einen neuen »Rekord« auf einer amerikanischen Eisenbahn. Auf der Savannah, Florida und West-Eisenbahn hat ein Dampfzug eine Strecke von 240 *km* in 130 Minuten zurückgelegt: es ist also mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von fast 111 *km*/Stde. gefahren worden. Der Zug hatte eine fünfachsige Lokomotive von 65 *t* Gewicht; die Dampfcylinder hatten 483 *mm* Durchmesser und 711 *mm* Hub; der Durchmesser der Triebräder betrug 1874 *mm*.

In Bezug auf die Einführung leistungsfähigerer 4- oder 5-achsiger und mit mehr als zwei Dampfcylindern versehener Schnellzuglokomotiven steht Amerika den meisten europäischen Staaten voran. Dies rührt daher, dass man sich in Europa bisher ebenfalls aus Sicherheitsgründen, aber auch wegen wirklichen oder vermeintlichen Mangels eines Bedürfnisses, gegen die Einführung der anderwärts

angewendeten hohen Fahrgeschwindigkeiten von über 90 *km*/Stde. sträubte. Auf die Dauer wird sich dieser Widerstand, so berechtigt er auch ist, nicht aufrecht erhalten lassen, und die seitens der preussischen Staatseisenbahnverwaltung beschlossene Beschaffung einer grossen Zahl neuartiger Schnellzuglokomotiven deutet darauf hin, dass man sich zur Aufgabe desselben bereits entschlossen hat.

Es fragt sich nun, ob für eine Erhöhung der bisher zugelassenen höchsten Geschwindigkeiten auf Vollbahnen ein Bedürfnis vorliegt, und ob die Dampflokomotive den berechtigten Ansprüchen in dieser Hinsicht unter voller Wahrung der Gangsicherheit zu entsprechen vermag.

Der Wunsch, dass die Fahrgeschwindigkeiten erhöht und damit die Fahrzeiten abgekürzt werden, tritt immer dringender hervor, seit die Zahl der Züge, welche grosse Strecken durchfahren und dabei nur die für Betriebszwecke unentbehrlichen Aufenthalte nehmen, mit jeder Fahrplanperiode zunimmt. Die Landesgrenzen bilden keine Schranken mehr für die Bildung durchgehender Schnellzüge. Wir sind auch in Europa, namentlich durch die Express- und Luxuszüge zu Verhältnissen des internationalen Schnell- und Fernverkehrs gelangt, die denen Nordamerikas zwar nicht an die Seite gestellt werden können, aber doch dem Reisenden ein tagelanges Verweilen im Zuge ohne Unterbrechung zumuten. Dadurch steigern sich die Anstrengungen der Reise trotz aller Bequemlichkeiten, die dem Reisenden im Zuge geboten werden, und bringen die Wohlthaten einer Abkürzung der Fahrzeiten, abgesehen von dem Gewinn an kostbarer Zeit selbst, in erhöhtem Masse zum Bewusstsein. So drängt namentlich die Entwickelung des internationalen Personenverkehrs auch in Europa auf Erhöhung der Fahrgeschwindigkeiten unaufhaltsam hin. Diesem Drängen wird überhaupt kaum ein Ziel gesetzt werden können. Sind die augenblicklich gewünschten Abkürzungen der Fahrzeiten erreicht, so treten neue Umstände auf, welche neue weitergehende Bestrebungen gerechtfertigt erscheinen lassen. Es mehren sich die Stimmen solcher auch den Verhältnissen nahestehenden Männer, welche die heute gesteckten Grenzen für zu eng halten, wenn auch anderseits anerkannt werden muss, dass in der Zulassung erhöhter Geschwindigkeiten Vorsicht geboten ist.[1])

Jede neue Fahrplanperiode bringt auch bei uns in Deutschland verkürzte Fahrzeiten durch erhöhte Fahrgeschwindigkeiten, und hieraus erklärt sich das Bedürfnis schnellerer Fahrt, dem man mit Rücksicht auf die technische Ausbildung der Betriebsmittel gern allseitig Rechnung trägt.

---

[1]) Vergl. Struck in der »Ztg. d. V. D. Eisenbahn-Verwaltungen« 1900, No. 22 und 23.

Man wendet ein, dass eine mässige Verkürzung der Fahrzeit in keinem Verhältnis steht zu den Stunden, die man bis zur Abfahrt des nächsten Zuges oder beim Umsteigen auf andere Linien verbringen muss. Aber gerade hieraus folgt, dass die Bestrebungen, mit Dampflokomotiven grössere Geschwindigkeiten zu erreichen, bald ihre Grenze gefunden haben werden, während der elektrische Betrieb neben der Geschwindigkeits-Erhöhung auch die rationelle Teilbarkeit der Züge und somit auch die Verkürzung der Wartezeiten ermöglicht.

Bei Beantwortung der Frage, welche grösste Geschwindigkeit zur Zeit von den Dampfeisenbahnen thatsächlich erzielt wird, muss man von gelegentlichen Versuchsfahrten absehen.

Hinsichtlich der Schnelligkeit stehen die französischen Bahnen an der Spitze, nicht die englischen, eine Annahme, der man häufig begegnet. Den schnellsten Zug enthält der Fahrplan der französischen Nordbahn (Reichs-Kursbuch Januar-Februar 1900); er durchfährt die Strecke Paris—Amiens von 131 *km* Länge in 1 Stunde 15 Minuten ohne Aufenthalt, was eine Geschwindigkeit von 104,8 *km*/Std. ergiebt. Diesem Zuge schliessen sich auf der Nordbahn die folgenden an:

Strecke	Länge *km*	Fahrzeit Std.	Fahrzeit Min.	Geschwindigkeit *km*/Std.
Amiens—Calais	167	1	49	92
Paris—Arras	192	2	10	88,6
Paris—St. Quentin . . .	153	1	44	38,8

Die Orléansbahn steht der Nordbahn fast gleich, wie folgende Zusammenstellung ergiebt:

Strecke	Länge *km*	Fahrzeit Std.	Fahrzeit Min.	Geschwindigkeit *km*/Std.
St. Pierre—Orléans . . .	110	1	07	98,5
St. Pierre—Orléans . . .	110	1	12	91,7
Poitiers—Angoulème . .	113	1	14	91,7
Angoulème—Poitiers . .	113	1	16	89,2
Angoulème—Bordeaux . .	140	1	35	88,4

Dann folgt die Südbahn mit folgenden Linien:

Strecke	Länge *km*	Fahrzeit Std.	Fahrzeit Min.	Geschwindigkeit *km*/Std.
Dax—Bordeaux	148	1	35	93,5
Dax—Bayonne	50	—	35	85,7
Orléans—Tours	112	1	12	93,4
Angoulème—Bordeaux . .	140	1	31	92,2
Bordeaux—Angoulème . .	140	1	31	92,2
Poitiers—Angoulème . .	113	1	14	91,7
Angoulème—Poitiers . .	113	1	15	90,4

Auf englischen Bahnen werden die angeführten höchsten Geschwindigkeiten keineswegs erreicht; während in Frankreich bis zu 104,8 *km*/Std. erzielt werden, kommt man dort nur in einem Falle auf 95 *km*/Std., und die nächste Zeit ist gleich 90,9. Einen Überblick gewährt folgende Zusammenstellung:

Strecke	Länge *km*	Fahrzeit Std.	Fahrzeit Min.	Geschwindigkeit *km*/Std.
Forfar—Perth	52,2	—	33	95
Stirling—Perth	53	—	35	90,9
Perth—Aberdeen	144,2	1	37	89,4
York—Darlington	71,1	—	48	87,7

Wenn wir uns nunmehr unserer deutschen Heimat zuwenden, so haben wir nach dem, was uns das Reichskursbuch angiebt, gerade keine Ursache, auf den Schnellbetrieb unserer Bahnen stolz zu sein. Allerdings darf man nicht vergessen, dass die Betriebsordnung für die Haupteisenbahnen Deutschlands vom Jahre 1897 als grösste zulässige Fahrgeschwindigkeit »für Personenzüge mit durchgehender Bremse unter besonders günstigen Verhältnissen mit Genehmigung der Landes-Aufsichtsbehörde« 90 *km*/Std. festsetzt. Die Durchschnittsgeschwindigkeit bleibt natürlich überall unter dieser Zahl. Wir müssen zufrieden sein, von Wittenberge nach Hamburg mit einer Geschwindigkeit von 82,5 *km*/Std. zu fahren, von Stendal nach Hannover mit 78,4 *km*/Std. und von Berlin nach Bitterfeld mit 74,5 *km*/Std. (Nach Struck).

Wir sehen, dass auch mit der Dampflokomotive Geschwindigkeiten ohne Gefahr ausführbar sind, die über das bisher übliche Mass weit hinausgehen. Dass dies heute ohne Beeinträchtigung der Betriebssicherheit möglich ist, haben wir zum grossen Teil dem Anreiz zu danken, welchen der drohende Wettbewerb der Elektrizität den Lokomotiv-Technikern zur Vervollkommnung der Dampflokomotive namentlich bezüglich der Gangsicherheit gegeben hat. Diese Bestrebungen (innere Cylinder, Viercylindermaschinen) sind noch im weiterem Masse durchaus Erfolg versprechend.

Aber nicht allein die Erhöhung der Geschwindigkeit kann die Triebfeder der Einführung elektrischen Betriebes sein, vielmehr müssen die wirtschaftlichen und sicherheitstechnischen Vorteile massgebend bleiben. Die ersteren können nur durch Praxis bewiesen werden und dient in Deutschland die Wannseebahn diesem Zweck in der Hauptsache. Eine wesentliche Ersparnis des Fahrpersonals und der Betriebsmaterialien wird nicht zu verzeichnen sein, dagegen ist die Fahrsicherheit bei hoher Geschwindigkeit eine bevorzugte gegenüber dem bisherigen Dampfbetriebe. Das Signalwesen wird sich bei elektrischem Betriebe in wesentlich anderer,

einfacherer und sicherer Weise vollziehen, als beim Dampfbetrieb und dies dürfte neben der Zerteilung der Zugseinheiten, den Hauptwert des elektrischen Vollbahn- und Schnellbahnbetriebes ausmachen.

In einem von den Bauräten Griebel & Philippi bearbeiteten Schnellbahnprojekt zwischen Berlin und Hamburg sind alle bei elektrischen Schnellbahnen in Betracht kommenden neuen Bau- und Betriebsverhältnisse eingehend berücksichtigt worden und dürften die hier niedergelegten Pläne zum grössten Teile ein neues Beurteilungsmaterial für praktische Ausführungen bieten.

Vergl. auch Broschure »Elektrische Schnellbahn Berlin—Hamburg 686 *km*« von Setzenbürger, Berlin.

Man ist nach den bisherigen Erfahrungen zu der Erkenntnis gekommen, dass auf den vorhandenen Vollbahnen bei den bisherigen Betriebsgewohnheiten der elektrische Betrieb vor dem Betriebe mit Dampflokomotiven keine ausschlaggebenden grossen Vorteile zu bieten vermag, dass vielmehr die unbestrittenen Vorzüge des ersteren nur bei entsprechender Abänderung der Betriebsarten und bei Geschwindigkeiten zur Geltung kommen können, welche die Dampflokomotive voraussichtlich auf die Dauer nicht zu leisten vermag. Auf den gegenwärtigen Vollbahnen mit ihren gesamten baulichen Anlagen, Neigungs- und Krümmungsverhältnissen, zahlreichen Wegeübergängen in Schienenhöhe, zahlreichen Haltestationen und Weichen, vielfach noch unvollkommenen Sicherungsanlagen, mit ihren jetzigen Betriebsverhältnissen, die häufige Überholungen bedingen, und mit den vorhandenen Betriebsmitteln sind wesentlich höhere Geschwindigkeiten als 100 bis 120 *km*/Std. nicht ausführbar.

Eine Aufstellung, welche es ermöglicht, mit wenig Rechnungen von vornherein zu bestimmen, ob eine Bahn billiger zu betreiben ist mit

a) Dampflokomotiven oder mit
b) Elektromotoren

diene den diesbezüglichen Betrachtungen als Grundlage.

Unter b) ist vorausgesetzt, dass die Elektromotoren in beliebiger Anzahl, gemäss den Steigungsverhältnissen der Bahntrace, an den Achsen der Wagen arbeiten, d. h. nicht an einer besonderen, elektrisch betriebenen Lokomotive. Einer der grössten Vorteile des elektrischen Betriebes ist der, die Nutzlast zur Adhäsionswirkung völlig ausnutzen zu können.

Bei kleinen Dampfbahnen wird durch das Gewicht der Lokomotive der ohnehin kleine Zug von etwa drei bis vier Wagen vergrössert. Dieses zur Adhäsion nötige Mehrgewicht wächst mit der Steigung und hat bei ca. 25 ‰ = 1 : 40 Steigung seine rationelle Grösse erreicht. Wie nachstehende Rechnungen zeigen, fängt der Betrieb

bei grösseren Steigungen als 1 : 40 an, elektrisch bedeutend billiger zu werden. Da eine Bahn nicht durchweg in genannter Steigung führt, sondern nur ein Prozentsatz davon steigt bezw. fällt, so sind die gefundenen Werte als Einheitswerte, die für jede Bahn besonders zusammengestellt werden müssen, zu betrachten. Zu Gunsten des Dampfbetriebes ist angenommen, dass sowohl für die Ebene, wie für jede Steigung immer nur das dazu gehörige Adhäsionsgewicht berechnet ist. In Wirklichkeit muss in der Ebene das grösste Gewicht mitbewegt werden. Die Arbeitsleistung am Dampf- sowie Elektromotor ist in gewissen Grenzen unabhängig vom Gewicht, daher braucht bei zeitweiliger Mehrleistung auf Steigung für den Motor an der Nutzlastachse kein grösseres Gewicht mitgenommen zu werden.

Es erscheint am zweckmässigsten, für den Vergleich eine Gewichts- und Entfernungseinheit einzuführen und diese in beiden Fällen mit gleicher Geschwindigkeit, z. B. von 15 *km*-Std. fortzubewegen. Diese geringe Geschwindigkeit ist als unterste Grenze gewählt worden, wobei bemerkt werden muss, dass bei doppelt so grosser Geschwindigkeit der Kohlenverbrauch in beiden Fällen auch ungefähr der doppelte wird u. s. w. Das hier folgende Schema gilt nur als Beispiel. Von Fall zu Fall müssten die betreffenden Werte angepasst werden.

Eine Tonne Brutto-Zuggewicht sei mit 15 *km*-Std. Geschwindigkeit fortzubewegen. Es ergeben sich alsdann z. B. folgende Leistungen:

Bei Steigung	1 : ∞	10 ‰	20 ‰	30 ‰	40 ‰	50 ‰	75 ‰	100 ‰
								PS
Bei elektrischem Betrieb am Radumfang:								
$1 \cdot (15+x) \cdot \frac{15}{3,6} \cdot \frac{1}{75}$	0,835	1,39	1,95	2,5	3,06	3,62	4,45	6,4
an der Motorwelle:								
$1 \cdot (15+x) \cdot \frac{15}{3,6} \cdot \frac{1}{75} \cdot \frac{1}{0,8}$ . . .	1,04	1,73	2,42	3,12	3,82	4,5	6,25	8,0
an der Primär-Dampfmaschine:								
$1 \cdot (15+x) \cdot \frac{15}{3,6} \cdot \frac{1}{75} \cdot \frac{1}{0,8} \cdot \frac{900}{600} \cdot 1,1$	1,715	2,86	4,0	5,14	6,28	7,42	10,3	13,15
Bei Dampfbetrieb am Dampfkolben:								
$\frac{3,7 \cdot 15\,(15+x)}{0,8 \cdot (1000-8w)}$ . . . . (w = Bahnwiderstand = 15 + x)	1,18	2,17	3,38	4,74	7,09	9,4	22,3	34,7

Um dieses Einheitsgewicht (1 *t*) während einer Stunde 15 *km* weit zu bewegen, d. h. um 15 *t-km* zu leisten, werden die in nachstehender Tabelle I angeführten Kohlenmengen verbrannt. Hierbei ist angenommen, dass sowohl in der Lokomotive als auch im stationären Kessel beste Steinkohle von 7300 Kalorien Heizwert verwandt wird, dass die Verdampfungsverhältnisse in beiden Fällen möglichst vollkommene sind und dass zu einer Pferdekraftstunde an der Lokomotive 2 *kg*, an der Primär-Dampfmaschine 1,5 *kg* Kohle erforderlich sind.

(Leisner giebt den Kohlenverbrauch einer Zwillings-Dampflokomotive mit 1,8 *kg* für die Nutzpferdestärke bei sechsfacher Verdampfung an. Mit stationären Maschinen erreicht man natürlich ebenfalls günstigeren Kohlenverbrauch als hier angenommen wurde.)

Man ersieht das nicht unerwartete Resultat, dass der Kohlenverbrauch bis zu ca. 8 ‰ Steigung an der Lokomotive entschieden kleiner ist, als bei elektrischem Betriebe, über diese Steigung hinaus jedoch bei elektrischem Betriebe geringer wird. Der Kohlenverbrauch als der Hauptfaktor der reinen Zugkosten charakterisiert die vollständigen Betriebskosten und giebt, wenn auch keine absoluten Werte, so doch genügend sichere Vergleichswerte.

Um eine Tonne Brutto-Zuggewicht fortzubewegen, ist für den entsprechenden Motor für beide Fälle ein Einheitswert einzusetzen, der sich aus den Kosten mittlerer Anlagen ergiebt.

Der Durchschnittspreis einer Lokomotive ist für 1 *kg* Eigengewicht 1 ℳ, und da für 1 *t* Zuggewicht (Wagen und Ladung) in der Horizontalen 136 *kg* Lokomotivgewicht zur Adhäsionswirkung notwendig sind, kostet die Lokomotive hierfür 136 ℳ u. s. w.

Diesen Kosten sind bei elektrischem Betriebe gegenüberzustellen die Kosten des Wagenmotors, der elektrischen Wageneinrichtung und die Kosten der Primärstation, selbstverständlich mit der Reduzierung auf die Einheit = 1 *t*.

Diese Werte, in nachstehende Tabelle II eingetragen, zeigen, dass die Anlagekosten bei Dampfbetrieb stets billiger sind, so lange die Dampflokomotive überhaupt noch nutzbare Arbeit leisten kann, d. h. bis zu einer Grenze, die in der Praxis mittels Adhäsionslokomotiven erreicht werden kann.

Um nun zu entscheiden, welche Art des Betriebes bei der angenommenen Einheit sich billiger stellt, müssen die Tabellen I und II vereinigt werden, indem man einen mittleren Preis der Kohle von 1,5 ₰/Kilogramm annimmt und entweder die Betriebskosten kapitalisiert und zum Anlagekapital hinzuzählt, oder das Anlagekapital verzinst und zu den Betriebskosten hinzuzählt. Es zeigt dies jedoch noch kein praktisches Bild, weil die motorischen Be-

triebsmittel bei 15 *km* Fahrt = 1 Stunde nicht ausgenutzt werden. Nimmt man aber an, dass täglich 10 Stunden lang gefahren wird, d. h. die Einheit während 10 Stunden in Bewegung ist, so ergiebt dies im Jahre

365 × 10 Betriebsstunden = 3650 × 15 *t/km* = 54 750 *t/km*.

Unter diesen Voraussetzungen sind in folgender Tabelle III die Werte aus Tabelle II und I zusammengestellt. Die Amortisationsquoten sind bei Dampf mit 7 % und bei elektrischem Betrieb mit 8 % eingesetzt.

Man sieht an diesen Zahlen, dass der Betrieb mittels Dampflokomotiven bis zu einer Steigung von 1 : 20 = 50 ‰ billiger ist als elektrischer Betrieb, von da ab wird der elektrische Betrieb billiger.

Es erübrigt nun noch, die Betriebskosten für eine höhere Ausnutzung, also z. B. 15 Stunden pro Tag darzustellen. Dies soll in Tabelle IV geschehen.

Der Unterschied von III ist nur der, dass der Dampfbetrieb schon bei 45 ‰ = 1 : 22 Steigung die Kosten des elektrischen Betriebes erreicht. Man sieht aber, dass die Tagesbetriebsdauer kein allzugrosser Faktor wird.

In Gegenden, wo die Kohle teurer als 1,5 ₰ für das Kilogramm ist, fällt der Vergleich der Betriebskosten zu Gunsten des elektrischen Betriebes aus. Der Tabelle V ist ein Preis von 2 ₰ pro Kilogramm zu Grunde gelegt worden.

Was nun die weiteren Anlagekosten von Bahnen mit beiderlei Betrieben anbetrifft, so ist noch über den Bau des Schienenweges und über die Adhäsionsverhältnisse einiges zu bemerken.

Die Schiene selbst ist bei Dampfbetrieb für die am stärksten belastete Lokomotivachse zu berechnen, bei elektrischem Betriebe nur für die am stärksten belastete Wagenachse.

In der Ebene und bei schwacher Steigung ist es nicht erforderlich, jede Achse anzutreiben, sondern man wird damit auskommen, wenn man nur die von vornherein leichter belasteten Achsen mit Elektromotoren versieht, sodass bei elektrischem Betriebe die beladenen Güterwagenachsen für die Berechnung des Schienenprofils massgebend sein können. Zieht man zudem noch in Betracht, dass durch das Schlingern der Dampflokomotiven die Schienen bedeutend ungünstiger beansprucht und berechnet werden müssen, als beim gleichmässig rotierenden Elektromotor, so ist selbst in der Ebene anzunehmen, dass die Minderkosten des Oberbaues eine primitive elektrische Stromleitung decken werden. Dies genau festzustellen, kann immer nur von Fall zu Fall geschehen, da die Schienenquerschnitte nicht allein für die Achsenbelastung berechnet werden. Wenn

es möglich ist, unter Anwendung hoher Steigungen den Schienenweg bedeutend zu verkürzen, dann dürfte die Ersparnis der Baukosten wesentlich für den elektrischen Betrieb sprechen, denn der grössere Wert der Betriebsmittel wird ausgeglichen durch obige Ersparnis.

Was schliesslich die weiteren Betriebskosten anbelangt, so ist zu bemerken, dass die Reparaturen bei elektrischem Betriebe billiger und einfacher sind, als bei Dampflokomotivbetrieb.

Ausser diesen Vorteilen, durch welche die Betriebssicherheit und die Leistungsfähigkeit der Eisenbahnen bedeutend erhöht wird, und demgemäss eine Erhöhung der Rentabilität verbürgt, bringt die Verwendung der Elektrizität zu den genannten Zwecken aber noch andere Ersparnisse mit. Diese bestehen:

- in dem Wegfall der Wasserstationen mit ihren Pumpanlagen;
- in dem Wegfall der Feuer- und Reinigungsgruben;
- in dem Wegfall der feuersicheren Bedachung der Häuser und des sogenannten Schutzstreifens längs der Bahnlinie;
- in dem Wegfall der Sicherungsvorkehrungen gegen Waldbrände;
- in Ersparnissen an Gehalt und Arbeitslöhnen durch Einführung der automatischen Signal- und Weichenstellung u. s. w.

Der Wegfall des lästigen Rauches, Russes und Dampfes, sowie des Geräusches, welches das Ansammeln und Ausstossen des Dampfes bei der Lokomotive verursacht, kann noch nebenher als Annehmlichkeit des elektrischen Betriebes erwähnt werden.

Tabelle I. Kohlenverbrauch für 15 *t-km*

Bei der Steigung	1 : ∞	10 ‰	20 ‰	30 ‰	40 ‰	50 ‰	75 ‰	100 ‰
Bei elektrischem Betrieb	2,57	4,28	6,0	7,7	9,4	11,1	15,4	19,7 *kg* Kohle
» Dampflokomotiv- »	2,36	4,35	6,77	9,5	14,2	18,8	44,6	69,5 » »

Tabelle II. Anlagekosten

für die motorische Einrichtung zur Fortbewegung einer Tonne

Auf der Steigung	1 : ∞	10 ‰	20 ‰	30 ‰	40 ‰	50 ‰	75 ‰	100 ‰
Bei Dampflokomotive:								ℳ
$P = \frac{f \cdot W \cdot R}{1000 - f w}$	136	250	390	562	785	1080	1895	11500
Bei elektrischem Betrieb:								
für Wageneinrichtung .	390	650	907	1170	1430	1690	2340	3000
für Primärstation . .	733	1220	1710	2200	2680	3170	4440	5660
Summa	1123	1870	2617	3370	4110	4860	6780	8660

Tabelle III.

Gesamtbetriebskosten 1,5 ₰/kg Kohle, 10 Stunden/Tag Fahrzeit

Auf der Steigung	1 : ∞	10 ‰	20 ‰	30 ‰	40 ‰	50 ‰	75 ‰	100 ‰
Bei Dampfbetrieb:								ℳ
Zinsen: 0,05 (II) . . .	6,8	11,9	19,5	28,1	39,2	51,5	94,8	575,0
Amortisation: 0,07 (II) .	9,5	17,5	27,3	39,4	55,0	75,6	132,5	805,0
Kohlenverbrauch: 3650 · 0,015 (I) . . .	129,0	238,0	370,0	520,0	775,0	1028,0	2440,0	3800,0
Summa	145,3	267,4	416,8	587,5	869,2	1255,1	2667,3	5180,0
Bei elektrischem Betrieb:								
Zinsen: 0,05 (II) . . .	56,8	93,5	131,7	168,5	205,0	243,0	339,0	433,0
Amortisation: 0,08 (II) .	90,0	149,6	209,0	270,0	329,0	389,0	543,0	694,0
Kohlenverbrauch: 3650 · 0,015 (I) . . .	140,5	234,0	328,0	420,0	514,0	614,0	850,0	1078,0
Summa	287,3	477,1	668,7	858,5	1048,0	1246,0	1732,0	2205,0

Tabelle IV.

Gesamtbetriebskosten 1,5 ₰/kg Kohle, 15 Stunden/Tag

Auf der Steigung	1 : ∞	10 ‰	20 ‰	30 ‰	40 ‰	50 ‰	75 ‰	100 ‰
Bei Dampfbetrieb:								ℳ
Zinsen: 0,05 (II) . . .	6,8	11,9	19,5	28,1	39,2	51,5	94,8	575,0
Amortisation: 0,07 (II) .	9,5	17,5	27,3	39,4	55,0	75,6	132,5	805,0
Kohlenverbrauch: 5475 · 0,015 (I) . . .	193,5	357,0	555,0	780,0	1150,0	1542,0	3660,0	5700,0
Summa	209,8	386,4	601,8	847,5	1242,2	1669,1	3887,3	7080,0
Bei elektrischem Betrieb:								
Zinsen: 0,05 (II) . . .	56,8	93,5	131,7	168,5	205,0	243,0	339,0	433,0
Amortisation: 0,08 (II) .	90,0	149,6	209,0	270,0	329,0	389,0	543,0	694,0
Kohlenverbrauch: 5475 · 0,015 (I) . . .	211,0	351,0	492,5	632,0	770,0	925,0	1264,0	1618,0
Summa	357,8	594,1	833,2	1070,5	1304,5	1557,0	2146,0	2745,0

Tabelle V.

Gesamtbetriebskosten 2 ₰/*kg* Kohle, 15 Stunden/Tag

Auf der Steigung	1 : ∞	10‰	20‰	30‰	40‰	50‰	75‰	100‰
Bei Dampfbetrieb:								ℳ
Zinsen: 0,05 (II) . . .	6,8	11,9	19,5	28,1	39,2	51,5	94,8	575,0
Amortisation: 0,07 (II) .	9,5	17,5	27,3	39,4	55,0	75,6	132,5	805,0
Kohlenverbrauch:								
5475 · 0,02 (I) . . .	256,2	477,0	742,0	1040,0	1557,0	2060,0	4880,0	7620,0
Summa	272,5	506,4	788,8	1107,5	1651,2	2187,1	5107,3	9000,0
Bei elektrischem Betrieb:								
Zinsen: 0,05 (II) . . .	56,8	93,5	131,7	168,5	205,0	243,0	339,0	433,0
Amortisation: 0,08 (II) .	90,9	149,6	209,0	270,0	329,0	389,0	543,0	694,0
Kohlenverbrauch:								
5475 · 0,02 (I) . . .	281,0	470,0	657,5	845,0	1030,0	1218,0	1690,0	2160,0
Summa	427,8	713,1	998,2	1283,5	1564,0	1850,0	2572,0	3287,0

Die erste elektrisch betriebene Vollbahn auf einer amerikanischen Zweiglinie vom Jahre 1895 gab dem Präsidenten des American Institute of El. Engineers, Dr. Duncan, bei seiner Antrittsrede den folgenden Gedankengang ein:

»Wenn man untersuchen will, in welchen Fällen und unter welchen Bedingungen die Elektrizität als Triebkraft für Vollbahnen Verwendung zu finden bestimmt ist, so muss man einige wirtschaftlich interessante Erscheinungen des modernen Eisenbahnbetriebes sich vergegenwärtigen. Die Statistiken der letzten zwei Jahrzehnte zeigen in der Entwickelung des Personen- und des Güterverkehrs entgegengesetzte Tendenz. Während beim Gütertransport aus ökonomischen Rücksichten das Bestreben dahin geht, die zu befördernden Lasten zu konzentrieren, lange Züge und schwere Lokomotiven anzuwenden, sahen sich die Bahnverwaltungen bei der Personenbeförderung genötigt, um den Anforderungen des reisenden Publikums zu genügen, die Zahl der Züge unter entsprechender Verminderung ihres Fassungsraumes zu vergrössern. Daraus folgt, dass die Rücksichten auf Betriebserfordernisse und beste Ökonomie beim Gütertransport Hand in Hand gehen, beim Personentransport nicht.

Auf einer der bedeutendsten amerikanischen Bahnen betrugen die Transportkosten für die Kilometertonne:

im Jahre 1870 . . . . 3,00 ₰
» » 1890 . . . . 1,46 »

auf einer anderen:

im Jahre 1864 . . . . 4,96 ₰
» » 1893 . . . . 1,16 »

Dagegen betrugen die Kosten und Einnahmen für das Personen-Kilometer auf der ersteren Bahn:

	Kosten	Einnahmen	Überschuss
im Jahre 1870:	1,54 ₰	5,45 ₰	+ 3,91 ₰
» » 1890:	3,90 »	4,90 »	+ 1,00 »

Diese Zahlen sind ein klarer Beweis dafür, dass für den Gütertransport das jetzige System des Lokomotivbetriebes das wirtschaftlich richtige ist, nicht aber für den Personenverkehr.«

Von Jahr zu Jahr steigt das Bedürfnis für eine schnellere Fortbewegung von Ort zu Ort. Eine schnellere Personenbeförderung auf unseren Hauptbahnen kann aus Sicherheitsgründen kaum mehr stattfinden. Unser Eisenbahn-Oberbau ist zu schwach, um noch schwerere Schnellzug-Lokomotiven mit noch grösserer Geschwindigkeit zu tragen.

Hier zeigt jedoch der Elektromotor seine volle Brauchbarkeit. Seine zu rühmenden Eigenschaften für den Eisenbahnbetrieb sind Kleinheit, Teilbarkeit, Einfachheit, seine nur rotierenden Massen und sein hoher Nutzeffekt. Die Bedienung der Elektromotoren ist die denkbar einfachste, gleichviel ob ein Wagen allein, oder mehrere gekuppelt fahren.

Man denke sich also in Zukunft für den Personenverkehr nicht mehr lange Züge, sondern man stelle sich vor, dass ein, zwei, auch drei Wagen, je nachdem das augenblickliche Verkehrsbedürfnis zwischen zwei Orten ist, die einfachste Lösung der neuen Verhältnisse darstellen.

Die dem Elektromotor eigentümliche rotierende Bewegung steht in grellem Gegensatze zu den schädlichen Bewegungen eines hin- und hergehenden Lokomotiv-Dampfkolbens. Das Schlingern und Stampfen der Dampflokomotiven begünstigt Entgleisungen und Oberbauvernichtungen. Die charakteristische Eigenschaft des Elektromotors, die einer schnellen Rotation, weist direkt auf seine Anwendung im Eisenbahn-Schnellbetriebe hin.

Die zweite, schon vorher erwähnte, vornehmlich der Eisenbahn zu gute kommende Eigenschaft des Elektromotors ist, dass derselbe durch seine Teilbarkeit in kleine Motoren das heute bis zur Grenze gesteigerte Adhäsionsgewicht einer Lokomotive überflüssig macht, und dass das Eigengewicht der Motoren an einer tief gelegenen Stelle des Wagens die Stabilität des Wagens bedeutend erhöht. Es leuchtet ein, dass für die geringeren und gut verteilten Massen und die stoss- und schwankungsfreie Bewegung eines elektrisch betriebenen Wagens ein schwächerer Oberbau genügt oder, was dasselbe sagen will, dass wir unseren heutigen Oberbau für grössere Geschwindigkeiten ohne Gefahrserhöhung ausnützen können.

Es erübrigt, noch einiges über Betriebseinfachheit des elektrischen Bahnbetriebes zu sagen. Ein jeder Wagen steht ohne weitere Vorbereitung betriebsfähig da. Ein Griff am Einschalterhebel genügt, um die Fahrt beginnen zu lassen. Die ganze Arbeit des Wagenführers während der Fahrt besteht darin, einen kleinen Schalthebel beim Anfahren, Langsam- und Schnellfahren oder beim Anhalten zu bewegen. Für das Bremsen tritt bei Verwendung der Luftbremsen vielleicht noch ein zweiter Hebel in Wirksamkeit, kann jedoch durch elektrisch betriebene Bremsen mit der Rückschaltbewegung identisch gemacht werden.

Mit der an sich nahe liegenden Geschwindigkeitserhöhung bei elektrischem Betriebe muss eine neue Signalgebung gleichen Schritt halten. Hier ist es wieder die Elektrizität, welche die schon seit längerer Zeit bestehenden Bestrebungen, die Signalisierung der Züge in grossem Umfange automatisch zu gestalten, zum Ziele führt. Diese Bestrebungen zielen dahin ab, Einrichtungen zu schaffen, mittels deren die fahrenden Züge sich selbst auf genau bestimmte Entfernungen nach den betreffenden Signalstellen (Stationen, Wärterposten u. s. w.) signalisieren, ohne dass Menschenhände dabei etwas zu thun haben.

Die Entfernung, auf welche die Signalisierung der Züge zu erfolgen hat, ist in der Regel zu gross, um solche durch rein mechanische Vorrichtungen bewerkstelligen zu können, trotzdem werden heute noch die wichtigsten Signale (Fahr- und Haltesignale) von Menschenhänden gestellt und die Elektrizität wird nur dazu benutzt, auf gewisse Entfernungen die Wärter zu benachrichtigen. Eine automatische Stellung der Fahr- und Haltesignale durch die fahrenden Züge ist in grossem Umfange zur Sicherung gegen Zusammenstösse als dringend notwendig zu bezeichnen. Die Anlagekosten können nicht ins Gewicht fallen, weil diese durch die erhöhte Betriebssicherheit, die Verminderung der Zusammenstösse und die Erhöhung der Leistungsfähigkeit reichlich aufgewogen werden.

Noch wäre zu erwägen, ob der Betrieb elektrischer Grossbahnen mittels Lokomotiven oder mittels Motorwagen erfolgen soll.

Wo Züge schwer und lang sind und die Belastung der Triebräder keine Rolle spielt, können besondere Lokomotiven von Vorteil sein, weil es im allgemeinen nicht wünschenswert ist, die maschinellen Einrichtungen zu vervielfältigen und man Wert darauf legen muss, dass solche Einrichtungen stets unter den Augen des Führers und leicht zugänglich sind. In Tunneln ist für die Motoren in besonderen Lokomotiven mehr Raum vorhanden als im Wagen. In Fällen jedoch, wo es von Wichtigkeit ist, das auf den Triebrädern ruhende Gewicht einzuschränken, ist durch die Anwendung von Motorwagen

die Möglichkeit geboten, beliebig lange Züge zu fahren, ohne dass das Bauwerk selbst ungebührlich belastet wird. Auf den New-Yorker Hochbahnen können beispielsweise schwere Lokomotiven nicht gefahren werden, und wenngleich der Verkehr dort so stark ist, dass die Bahn in Bezug auf die Dichtigkeit der Zugfolge und die Belastung der Wagen an der Grenze der Leistungsfähigkeit angelangt ist, geschweige denn, dass von einer bequemen Abfertigung des Verkehrs die Rede sein könnte, so können doch die Züge nicht länger gemacht werden, als sie jetzt sind, solange nicht das Bauwerk selbst verstärkt wird oder Motorwagen eingeführt werden. Im übrigen ermöglicht die Anwendung von Motorwagen, das Gewicht der Züge bei einer gegebenen Energie herabzumindern, also auch eine höhere Geschwindigkeit zu erreichen. Bei der Liverpooler Hochbahn wird beispielsweise das Gewicht der beiden Wagen, welche 114 Personen fassen, durch die Motoren um 6,7 *t* vergrössert, während im Falle der City- und Süd-London-Tiefbahn, wo in zwei Wagen 96 Personen befördert werden, das Gewicht der Lokomotiven 10,7 *t* beträgt. Der Fortfall der Verschubbewegungen an den Bahnenden ist ein weiterer Vorzug der Motorwagen. Jede besondere Bewegung selbst einer leichten Lokomotive beansprucht verhältnismässig viel Strom, steigert also noch die Unregelmässigkeit des Bedarfs und somit der Leistungen, welchen die Dampfmaschinen und Dynamos unterworfen sind. Bei Verwendung von Motorwagen wird an den Endstationen Zeit gespart und der Bedarf an Nebengleisen wird herabgemindert.

Die Anwendung des Motors bei elektrischen Schnellbahnen bietet gegenüber den bisher behandelten Bahnen einen charakteristischen Unterschied. Da nämlich die Umdrehungszahl des Elektromotors gleich der der Triebachse ist, so kann man den Motor ohne Vorgelege arbeiten lassen und ihn direkt mit der Triebachse verbinden, d. h. Ankerachse und Laufachse werden identisch. Ein solcher, von der Elektrizitäts-Aktien-Gesellschaft, vorm. Schuckert & Co. in Nürnberg, für die belgische Staatsbahn gelieferter Vollbahnmotor für 85 Kilowatt Leistung bei 231 Minuten-Umdrehungen und 500 *kg* Zugkraft am Hebelarme 1 *m* ist in Fig. 155 und 156 dargestellt. Das magnetische Feld dieses Nebenschlussmotors wird beim Anfahren durch Hauptstromspulen verstärkt, arbeitet also für den Anzug mit Verbundwickelung.

2. Amerikanische Vollbahnen.

Wie bereits erwähnt, war die erste für elektrischen Betrieb umgewandelte Dampflokomotivbahn die am 6. Juli 1895 eröffnete

Nantasket-Bahn,
eine Zweiglinie der New-York-, New-Haven- und Hartford-Eisenbahn, die teils mit oberirdischer Stromzuführung, teils mit



Fig. 155.

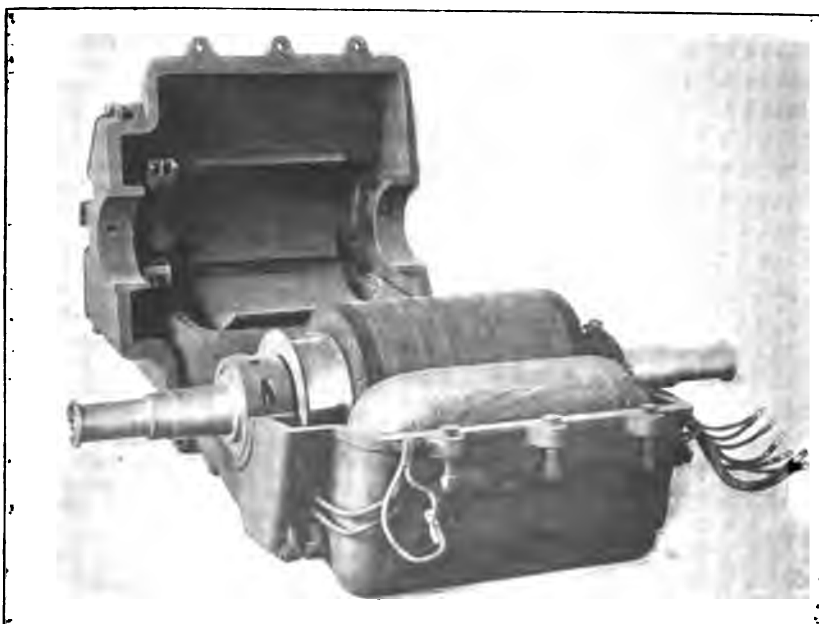


Fig. 156.

seitlicher Niveauleitung betrieben wird. Die Kraftstation befindet sich in der Mitte der normalspurigen, anfangs 11,3, später 17,1 *km* langen zweigleisigen Strecke.

Die Betriebsspannung der Bahn ist 600—700 Volt. Der Fahrdraht besitzt achtförmigen Querschnitt und hängt an Doppel-Auslegern. Die Holzmasten stehen zwischen den Gleisen in 18—27 *m* Entfernung.

In ihrer Betriebsart bietet die Nantasket-Linie dadurch besondere Schwierigkeiten, dass auf der 17,1 *km* langen Strecke 17 Haltestellen vorhanden sind. Die Strecke wird in 26 Minuten zurückgelegt und der Aufenthalt auf den Endpunkten beträgt einschliesslich des Umsetzens nur vier Minuten; das sind Leistungen, die sich schwerlich mit Dampflokomotiven erreichen lassen, schon deshalb, weil die normale Fahrgeschwindigkeit nicht in der kurzen, zur Verfügung stehenden Zeit erzielt werden könnte. Beträgt doch auf dem einen Teile der Nantasket-Linie von 549 *m* Länge bei einem Zuge von 60 *t* Gewicht die höchste Geschwindigkeit 49,9 *km*/Std.; auf einem 1770 *m* langen Abschnitt 62,75 *km*/Std. Die durchschnittliche Geschwindigkeit im regelmässigen Betriebe wird einschliesslich der Aufenthalte zu 39,6 *km* angegeben, indess soll auch schon versuchsweise mit 100 *km*/Std. und mehr gefahren worden sein.

Die grösste Steigung ist 5,7 $^0/_{00}$. Die schärfste Kurve hat einen Krümmungsradius von 80 *m*. Die Wagen laufen auf je 2 zweiachsigen Drehgestellen. Die Höhe dieser Drehgestelle ist etwas über normal, um für die Elektromotoren genügend Raum zu gewinnen. Die Wagen sind 15,3 *m* lang und 2,4 *m* breit. Es sind im ganzen zehn Motorwagen eingestellt; sechs davon offen für den Personentransport mit je 96 Sitzplätzen, die übrigen Gepäckwagen. Die Motorwagen haben je zwei Elektromotoren, welche die beiden Achsen eines Drehgestelles antreiben. Zwei von den Gepäckwagen sind mit je vier Motoren ausgerüstet. Die Motoren besitzen je 1000 *kg* Zugkraft, ihre Umdrehungszahl beträgt 800, die der Wagenachse 260. Die Zugkraft des Wagens am Haken beträgt 1800 bezw. 3600 *kg*. Das Gewicht der Wagen ist bemerkenswert hoch: nämlich das der Motorwagen 27000 *kg*, dass der Anhängewagen, von denen 24 vorhanden sind, 19500 *kg*. Sämtliche Personenwagen sind insofern nach dem Muster der Strassenbahnwagen gebaut, als sie sämtlich offen sind und Querbänke haben, die von beiden Seiten des Wagens mittels dreier übereinander liegender Trittbretter zugänglich sind. In jedem Wagen befindet sich ein automatischer Ausschalter, auf der Plattform der Perronschalter und ein kleiner Gleichstrommotor zum Betrieb der Luftpumpe der Westinghouse-Bremse und der Luftpfeife, die an Stelle der Dampfpfeife tritt. Der Kohlenverbrauch

soll seit Einführung des elektrischen Betriebes von 30 *t* am Tage = 15,5 *kg* für das Zugkilometer auf weniger als die Hälfte heruntergegangen sein. Auch an Löhnen werden insofern erhebliche Ersparnisse gemacht, als der Lohn für den Führer eines Motorwagens 50% niedriger ist als für einen Lokomotivführer, und der Heizer ganz in Fortfall kommt.

Die Personentarife konnten infolge des Betriebes ermässigt werden, wodurch eine bedeutende Verkehrssteigerung eintrat.

Durch die unabsprechbaren Erfolge ermutigt, hat diese Bahngesellschaft bald weitere Linien elektrisch ausgebaut.

Eine andere Strecke geht von Berlin in Connecticut über New-Britian nach Hartford und besitzt eine Länge von 19,8 *km*, wovon 4,8 *km* zweigleisig sind. Die Kraftstation ist nach Berlin, also an einen Endpunkt, verlegt, weil man Erfahrungen über die Fortleitung des Stromes auf grössere Entfernungen sammeln wollte. Berlin ist Knotenpunkt für mehrere Bahnlinien, die ebenfalls elektrisch betrieben werden sollen.

Die rund 15 *km* weite Entfernung zwischen Hartford und New-Britian wird von einem Motorwagen mit zwei Anhängewagen in 18 bis 20 Minuten zurückgelegt, was einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 45—50 *km*/Std. entspricht. Die höchste hier erreichte Schnelligkeit betrug 96,5 k*m*/Std.

Die Stromleitung besteht aus einem Draht, welcher neben der Strecke, nur einen halben Meter vom Erdboden entfernt, geführt ist. Die Fahrschiene ist ebenfalls stromleitend. Während des Betriebes hat es sich gezeigt, dass für mit sehr vielen Haltestellen versehene Strecken der elektrische Betrieb ganz vorzüglich geeignet ist. Infolge des häufigen Anhaltens geht bei der Dampfeisenbahn viel Zeit dadurch verloren, dass der Zug eine gewisse Zeit braucht, bis er jedes Mal wieder seine volle Geschwindigkeit erlangt; bei elektrischem Betrieb aber wird diese Zeit ganz wesentlich verringert.

Die im Sommer 1897 eröffnete, elektrisch betriebene Vollbahn zwischen den Städten Baltimore und Washington ist 62 *km* lang. Der Name der erbauenden Gesellschaft ist »Colombia and Maryland Railway Company.«

Der Bau bot viele Schwierigkeiten, da mehrere Brücken und grosse Viadukte gebaut werden mussten, ein Durchstich von 100 *m* Länge und bis zu 15 *m* Tiefe durch ein Granitgebirge nötig wurde und in der Nähe von Ellicott City ein Fluss, dessen Bett 4,5 *m* über dem Bahngleis lag, verlegt und mit Dämmen versehen werden musste. Es wurden fünf Dampfbahnlinien gekreuzt und zwei davon mit Unterführungen versehen.

Die Linie geht von Baltimore über Cantonsville, überschreitet bei Ilschester den Patapsco-Fluss und berührt die Städte Laurel und Hyattsville. In Ilschester und Hyattsville sind Kraftstationen angelegt, deren jede acht Dynamos von je 700 Kilowatt Leistung enthalten. Die Westingshouse Electric Co. in Pittsburgh rüstete die Kraftstation aus und lieferte den gesamten elektrischen Teil der Bahn.

Vorläufig ist die Bahn doppelgleisig gebaut und erhält auf der freien Strecke Schienen von 42 *kg/m*, in den Städten solche von 47 *kg/m* Gewicht.

Die Wagen sind kräftig gebaut, ähnlich denen der Nantasket Beach-Bahn; sie enthalten jeder 48 Sitzplätze. Die Züge bestehen nur aus einem Motorwagen und zwei Anhängewagen. Die Fahrgeschwindigkeit beträgt zwischen 50 und 100 *km*/Std. und die Fahrzeit von Baltimore nach Washington eine Stunde. Die Stromzuführung erfolgt oberirdisch.

Eine der Zweiglinien, welche die Pennsylvania-Bahn mit elektrischem Betriebe eingerichtet hat, ist die Burlington- und Mt. Holly-Zweigbahn. Jedes der beiden vierrädrigen Drehgestelle der hier im Betrieb befindlichen Wagen ist mit einem 75 PS-Motor der Westinghouse Co. versehen. Die Strecke hat $11^1/_2$ *km* Länge, sie wurde früher mit Dampflokomotiven betrieben, seit dem 22. Juli 1895 ist aber der elektrische Betrieb eröffnet. Täglich laufen zehn Züge in jeder Richtung.

Die elektrisch betriebene Oakland-, San Leandro- und Haywards-Bahn in Kalifornien lässt in jedem Zuge einen Motorwagen mit zwei 50 PS-Motoren laufen. Die Personenzüge bestehen aus leichten, seitlich offenen Wagen, die Güterzüge aus leichten Plattformwagen, welche grösstenteils mit Frachtgütern beladene Wagen von Ort zu Ort befördern, die dann durch Pferde landeinwärts geschafft werden.

Baltimore-Ohiobahn.

Die Aufgabe der Baltimore-Ohio-Lokomotiven besteht darin, ganze Züge samt der Dampflokomotive durch einen Tunnel unter der Stadt Baltimore zu ziehen, und zwar Güterzüge im Gewicht von 1200 *t* mit einer Geschwindigkeit von 24 *km* pro Stunde und Personenzüge von 500 *t* Gewicht mit einer Geschwindigkeit von 50 *km* in der Stunde.

Um sich ein Bild von dieser Lokomotive zu machen, ist zu bedenken, dass das Gewicht derselben 90 *t* beträgt. Sie hat vier Achsen, von denen je zwei zu einem Untergestell vereinigt sind. Auf jeder Achse ist ein Motor mit einer normalen Leistung von 360 PS montiert, sodass die ganze Last der Lokomotive als Adhäsions-

gewicht ausgenutzt wird; sie vermag also 1500—1600 PS zu entwickeln, welche Leistung diejenige der schwersten Dampflokomotive bei weitem übertrifft. Sie ist auch in ihren Dimensionen noch grösser als eine Dampflokomotive. Die Hauptdimensionen dieser Lokomotive sind folgende:

Gewicht	90 *t*
Zug an der Zugstange	18000 *kg*
Grösste Länge	13,00 *m*
Grösste Breite	1,99 »
Grösste Höhe	4,33 »
Radstand eines Trucks	2,08 »
Durchmesser der Räder	1,57 »
Spurweite	1,435 ».

Die von der Lokomotive befahrene Strecke beträgt 5 *km*; die Länge des Tunnels ist 2,4 *km*. Die Steigung beträgt ausserhalb des Tunnels 1,5 % und innerhalb 0,8 %.

Obwohl die Lokomotiven eigentlich nur aus dem Grunde elektrisch betrieben werden, um die lästige Rauchplage durch die Dampflokomotive im Tunnel zu vermeiden, so ist damit doch ein interessantes Beispiel von elektrischem Betrieb in Verbindung mit schweren Vollbahnzügen geschaffen worden, wobei bisher unerreicht grosse Bahnmotoren in Anwendung kamen.

Die elektrische Vollbahn Albany—Hudson in Amerika.

Die elektrische Vollbahn zwischen Albany und Hudson N.-Y., ist am 22. November 1900 dem Betriebe übergeben worden. Die Länge der Bahn beträgt ca. 60 *km*. Die Stromzuführung erfolgt mittels dritter längs des Gleises verlegter Schiene. Die Kraftstation liegt zu Stuyvesant Falls am Kinderhook Creek, ungefähr 16 *km* nördlich von der Endstation zu Hudson entfernt. Dieselbe enthält 10 von der General Electric Company gelieferte Generatoren, deren jede mit einer von der Firma Stilwell-Bierce & Smith Vaile zu Daiton, Ohio gebauten Turbine mit horizontaler Welle direkt gekuppelt ist. Die Regulierung der Turbinen geschieht durch Lombard-Regulatoren. Von den Generatoren dienen drei Dreiphasenstrommaschinen von 750 Kilowatt, 12000 Volt bei 60 Perioden für den Eisenbahndienst, zwei Einphasenstrommaschinen zu 250 Kilowatt und eine von 125 Kilowatt bei 2200 Volt zur Versorgung der Beleuchtung zu Hudson und Rennsselaer in der Nähe von Albany. Der Strom für den letzteren Ort wird mit 22000 Volt, der für Hudson mit 11000 Volt Spannung übertragen. Ausserdem sind vorhanden zwei mehrpolige Gleichstrommaschinen von je 200 Kilowatt bei 600 Volt, welche den Strom für den in der Nähe der Kraftstation gelegenen

Teil der Bahn liefern, und zwei Erregermaschinen von je 40 Kilowatt bei 60 Volt. Ausser der Wasserkraftanlage ist noch eine besondere Dampfanlage vorgesehen, bestehend aus zwei stehenden Buckeye-Compoundmaschinen mit den zugehörigen Dampfkesseln. Die Anordnung ist so getroffen, dass im Falle einer Beschädigung der Turbinenanlage die eine 750 Kilowatt-Drehstrommaschine und die beiden 250 Kilowatt-Einphasenmaschinen auf die Dampfmaschinen umgeschaltet werden können.

Der Strom von 12000 Volt Spannung wird mittels Oberleitung von der Kraftstation zu drei Unterstationen geführt, von denen sich die eine zu East Greenbush 37 *km* von der Kraftstation entfernt, die zweite zu North Chatam, 18 *km* weiter nördlich von der ersten, und die dritte 13 *km* von der Stadt Hudson entfernt befindet. Die ganze Oberleitungsanlage ist auf eigenem Terrain der Gesellschaft errichtet und durch Schutzdrahtgitter abgesperrt. In jeder der Unterstationen wird der Strom durch Transformatoren mit Luftkühlung auf 380 Volt herabgesetzt und dann zu rotierenden Umformern geleitet, welche ihn mit 600 Volt Spannung an die Arbeitsleitung abgeben. Ein besonderes Verteilungsnetz für diese Spannung ist nicht vorhanden, vielmehr dient die dritte Schiene zugleich als Speiseleitung und als Arbeitsleitung. Das Gleis, welches je nachdem es die Bedürfnisse erfordern, teils ein-, teils doppelgleisig ausgeführt ist, besitzt nur geringe Steigungen bis zu höchstens 5%. Die Schienen von 60 *kg* Gewicht pro Meter ruhen auf 60 *cm* von Mitte zu Mitte voneinander abstehenden Schwellen aus Kastanienholz von 15 · 20 *cm* Querschnitt. Die dritte Schiene erhebt sich 15 *cm* über Fahrschienen-Oberkante und ruht am Ende jeder fünften Schwelle auf hölzernen Klötzen, die zum Schutze gegen Feuchtigkeit mit gusseisernen Kappen oder Stühlen versehen sind, auf denen die Schiene aufliegt. Die letztere hat keinen so hohen Kohlenstoffgehalt wie die Gleisschienen und besitzt daher grössere Leitungsfähigkeit als diese. Die Fahrschienen sind mit Längs- und Querbunden behufs besserer Rückleitung des Stromes versehen. Der Strom wird von der dritten Schiene mittels Kontaktschuhen abgenommen, von denen jeder Wagen vier, je zwei auf jeder Seite besitzt. Diese Kontaktschuhe haben einen Abstand von etwas über 9 *m*, sodass der vordere bereits nach vorn Kontakt macht, bevor der hintere die zurückliegende Schiene verlässt. Bei Kreuzungen mit Wegen und Landstrassen ist die dritte Schiene unterbrochen; der Stromkreis wird daselbst durch unter der Strasse fortgeführte Kabel aufrecht erhalten. Wo derartige Unterbrechungen vorkommen, ist die dritte Schiene etwas nach unten gebogen, sodass der Kontaktschuh leicht und sanft wieder auf die Schiene hinaufgleitet. Der Kontakt-

schuh kann vom Wagenführer auf und nieder gelassen werden und wird in seiner aufrechten Stellung durch einen Stift festgehalten. An den Endstationen geschieht die Stromzuführung zu den Wagen in gewöhnlicher Weise mittels Oberleitung und Kontaktrute. Ein in jedem Wagen befindlicher Umschalter ermöglicht es, den Wagen von der Unterleitung auf die Oberleitung zu schalten.

Das rollende Material der Bahn besteht gegenwärtig aus 18 Personenwagen und zwei Expresswagen. Die Personenwagen, welche aus zwei Abteilungen bestehen, sind 16 *m* lang und fassen 60 Personen. Die Sommerwagen haben vier General Electric Motoren zu je 50 PS, die Winterwagen ebenso vier Motoren zu je 75 PS. Die ersteren können mit einer Geschwindigkeit von ca. 60 *km*, die anderen mit einer solchen von ca. 80 *km* laufen. Die Bahn dient sowohl für Personen- wie für Güterverkehr.

Der Bau der Bahn soll 10500000 *M* gekostet haben, also rund 175000 *M/km*.

Die längste elektrische Bahn soll in der Republik Mexiko, in einer Länge von mehr als 400 *km* gebaut werden. Dieselbe soll vornehmlich der Frachtbeförderung dienen und den wald- und kaffeereichen Staat Chiapas an die Verkehrswege zu Land und See anschliessen.

3. Meckenbeuren—Tettnang.[1])

Die erste elektrische Vollbahn Europas, zwischen Meckenbeuren und Tettnang in Württemberg, befindet sich seit dem 3. Dezember 1895 im Betriebe und hat hinreichende Proben ihrer Leistungsfähigkeit abgelegt. Die Bahn schliesst sich an die Linie Ulm—Friedrichshafen an und ist normalspurig gebaut. Fig. 157 zeigt die freie Strecke. Die Betriebskraft für die Bahn wie für ein mit ihr verbundenes Elektrizitätswerk der Stadt Tettnang wird von dem Flüsschen Schussen geliefert, in welches bei Brochenzell ein Stauwehr mit einem nutzbaren Gefälle von 2,65 *m* und ein anschliessender 700 *m* langer Kanal für eine sekundliche Wassermenge von 6 *cbm* ausreichend eingebaut ist. Die Maschinenanlage besteht aus zwei Jonval-Turbinen von 45 und 75 PS Leistung mit wagerechten Schiebern; die grössere ist überdies mit Ringschützenregelung versehen. Mittels Kegelräder und Seilübertragung arbeiten die Turbinen auf zwei Transmissionswellen, welche durch eine Klauenkuppelung vereinigt werden können. Im Maschinenhaus ist eine vierpolige Gleichstromdynamo von 43 Kilowatt bei 700 Volt Spannung für den Bahnbetrieb und eine Wechselstromdynamo von 40 Kilowatt bei

[1]) Vergl. auch Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1897, Heft 36, S. 1020 ff., und Heft 37, S 1048 ff.; Heimpel u. ETZ 1896, Heft 53.

2100 Volt mit unmittelbar angekuppelter Erregermaschine für die Fernleitung nach Tettnang aufgestellt. Für die Licht- und Kraftverteilung in dieser Stadt wird die Spannung durch Transformatoren auf 110 Volt vermindert; die Hochspannungsleitung ist innerhalb der Stadt unterirdisch verlegt, die Verbrauchsleitungen sind auf Stangen und Trägern über die Dächer gezogen. Gewöhnlich bleiben die oben erwähnten Transmissionswellen getrennt; es arbeitet dann die 75 PS-Turbine für den Bahnbetrieb, die kleinere für die Licht- und Kraftverteilung. Bei ungünstigem Wasserstand kann eine in

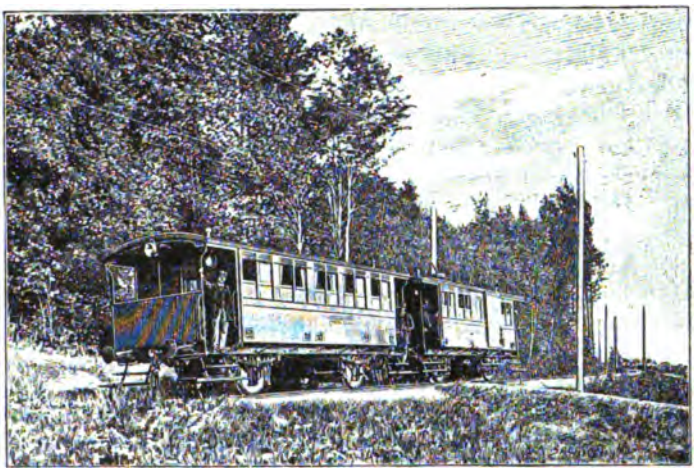


Fig. 157.

Tettnang aufgestellte Dampfmaschinenreserve benutzt werden. Diese leistet 120 PS und treibt eine Wechsel- und eine Gleichstromdynamo. Die Gleichstrom- und ebenso die Wechselstrommaschinen beider Anlagen können parallel geschaltet werden. Der in Brochenzell erzeugte Strom wird mittels oberirdischer Leitung unter Benutzung eines einzigen Gestänges nach Meckenbeuren geleitet und von hier, dem Bahnkörper folgend, nach Tettnang, wo die Leitungen am Schaltbrett der dortigen Centrale endigen. Auf der rechten Seite des Bahnkörpers sind die Masten für die Wechselstromleitungen und die Gleichstrom-Speiseleitung, auf der anderen diejenigen für die Fernsprecher und die Messleitungen für den Lichtbetrieb angebracht. Die Stangen sind mit Drahtseilen verbunden, welche auf einer Höhe von 5,5 *m* über den Schienen die Fahrdrahtleitung tragen. In den Bahnhöfen ist die letztere an besonderen eisernen Auslegern befestigt. In Meckenbeuren und in der Centrale Tettnang ist der eine Pol der Gleichstrommaschine an die Schienen angeschlossen, welche den Strom

leiten, den anderen Pol bildet die Speiseleitung, welche mit der Fahrleitung in Abständen von 200 *m* verbunden ist. Zur Sicherung einer guten Verbindung sind die Schienen an den Stössen noch durch besondere angenietete Kupferbügel verbunden. Der ohmische Widerstand der Schienenleitung beträgt 0,01 Ω/km. Die Speiseleitung ist so angeordnet, dass die Leitungen der Bahnhöfe und der Linie von jedem Bahnhof aus durch besondere Ausschalter unterbrochen werden können. Die gesamte Leitungslänge zwischen Brochenzell und Tettnang beträgt 6 *km*, die Bahnlänge 4,5 *km*; die grösste Steigung beträgt 1 : 50, der kleinste Kurvenradius 180 *m*. Das verwendete Schienenprofil wiegt 21,96 *kg/m*. Für das Verschieben der Güterzüge wurden 15 Weichen und ein Kreuzungsstück notwendig. Der Verkehr zwischen der Station Meckenbeuren der Linie Friedrichshafen—Ulm und der württembergischen Oberamtsstadt Tettnang wird durch 26 fahrplanmässige Züge besorgt; nach Bedürfnis können auch Sonderzüge eingeschaltet werden. Die Beförderung der Züge vermitteln zwei Motorwagen, welche als Personenwagen mit Post- und Gepäckabteil ausgeführt sind. Der Strom hat, bevor er zu den Motoren gelangt, einen Notausschalter, eine Bleisicherung, eine Blitzschutzvorrichtung und endlich einen Regulator, welcher eine Änderung der Geschwindigkeit innerhalb weiter Grenzen gestattet, zu durchfliessen. Die Wagen sind elektrisch beleuchtet und elektrisch geheizt. Die Leistung ist vertragsmässig auf eine Zugkraft von 350 *kg* bei einer Geschwindigkeit von 30 *km*/Std. oder auf 1200 *kg* bei 8 *km* festgesetzt. Im Betriebe hat sich jedoch gezeigt, dass die Leistung der Motoren bedeutend höher ist, da selbst bei grösserer Geschwindigkeit Lastzüge von 55 *t* befördert werden. Es hat sich namentlich der Güterverkehr in den ersten Monaten des Betriebes so stark entwickelt, dass eine Akkumulatorenbatterie aufgestellt werden musste, welche die vorhandene Wasserkraft besser auszunutzen ermöglicht und die Kapazität der Anlage verdoppelt. Zugleich hatte man die durch das Anfahren des 48 *t* schweren Zuges auf der Steigung 1 : 50 auftretenden Stromstösse von 0—100 Ampère hierdurch ausgleichen wollen und schaltete diese als sogenannte Pufferbatterie den Betriebsmaschinen parallel. Der mit der Kraftstation verbundenen Lichtstation wurde dadurch ebenfalls eine Reserve geboten, indem zu Zeiten starken Lichtbedarfes die Batterie allein den Bahnbetrieb übernahm und die Turbinen zum Treiben der Lichtmaschinen voll ausgenutzt werden konnten. Diese Batterie musste sehr hoch beansprucht werden und war es daher erforderlich, dieselbe jeden Tag voll aufzuladen. Zu diesem Zwecke bedient man sich hier der Dreireihenschaltung (siehe Band I, 1900, S. 67). Vor Einbau dieser Batterie sank bei Unaufmerksamkeit des Maschinisten

die Umdrehungszahl der Turbinen derartig, dass die Netzspannung bis 400 Volt sank und umgekehrt beim Anhalten des Zuges ungewöhnlich hoch stieg. Man versuchte zunächst, durch einen eigenartigen Widerstand die Stösse auszugleichen, indess mit schlechtem

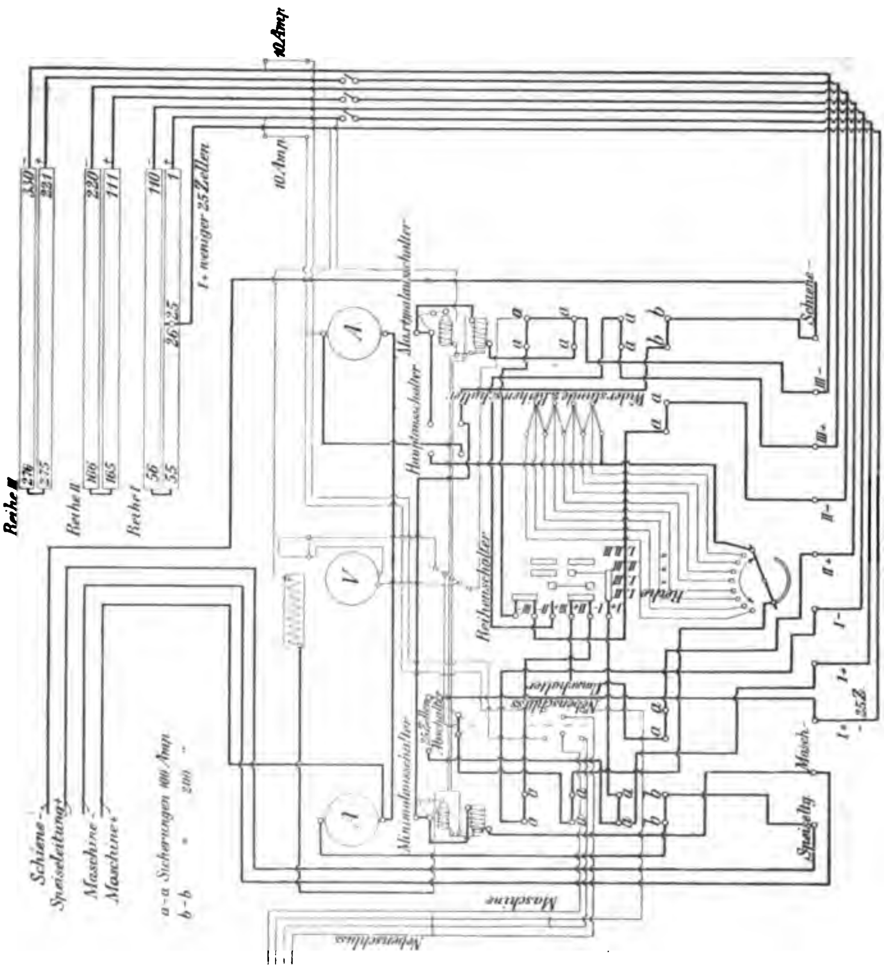


Fig. 158a.

Erfolge gegenüber der nunmehrigen Akkumulatorenschaltung. Die Betriebsverhältnisse führten nun dahin, 330 Elemente für eine mittlere Entladespannung von 660 Volt und 40 Ampère-Std. Kapazität aufzustellen.

Die Verbindung der Batterie mit Speiseleitung und Maschine ist aus der Akkumulatorschalttafel (Fig. 158a) und dem Schema (Fig. 158b)

ersichtlich. Sie ist so gestaltet, dass Batterie und Maschine jederzeit parallel arbeiten können. Bei Parallelschaltung beider Stromquellen wird die Gleichstrommaschine von der Batterie aus erregt. Ausser dem Reihenschalter, dem Abschalter für 25 Zellen und dem Nebenschlussumschalter befinden sich auf der Akkumulatorenschalttafel noch Maximal- und Minimalausschalter, Sicherungen und Messapparate. Der Maximalausschalter erfüllt den gleichen Zweck wie der am Maschinenschaltbrett, nämlich bei Kurzschlüssen oder sonstigen

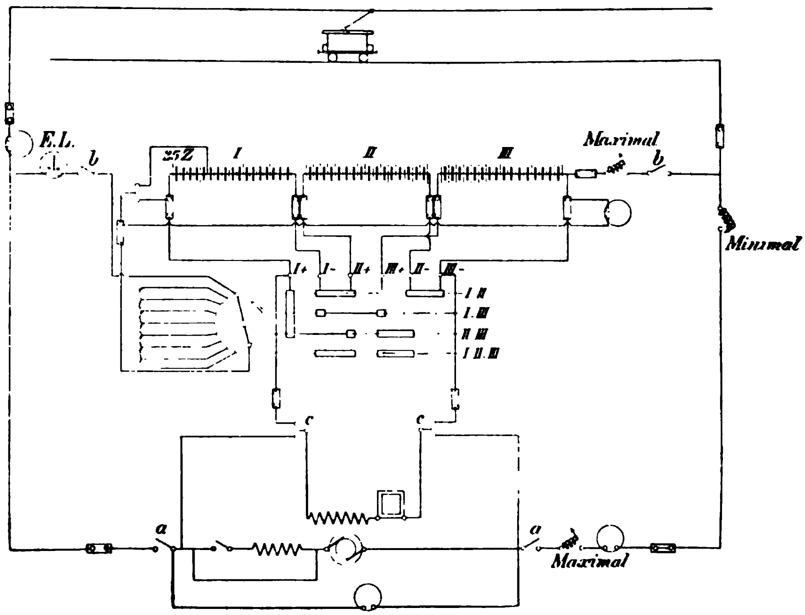


Fig. 158b.

Stromstössen die Hauptleitung zu unterbrechen; der Minimalausschalter hat in Wirksamkeit zu treten, sobald die Akkumulatorenspannung bei der Ladung die der Maschine um ein gewisses Mass übersteigt, um zu verhindern, dass die Maschine Rückstrom von der Batterie her erhält.

Der Hauptbestandteil des Schaltbrettes ist der Reihenschalter, welcher ermöglicht, je zwei Reihen paarweise oder alle drei Reihen hintereinander zu schalten; er besteht aus einem senkrecht stehenden drehbaren Cylinder mit Kontaktstücken, über welche bei Drehung des Cylinders Bürsten gleiten, die mit den einzelnen Reihenpolen verbunden sind. Durch entsprechende Stellung der Kontaktstücke lassen sich die erforderlichen Kombinationen in der Schaltung hervorbringen; es sind dies die Schaltungen: Reihen 1, 2, Reihen 1, 3,

Reihen 2, 3 und Reihen 1, 2, 3. Würde die Umschaltung zweier mit 600 Volt voll geladener Reihen auf zwei Reihen, deren eine ungeladen ist, ohne Zwischenglied erfolgen, so wären starke Funkenbildungen zwischen den betreffenden Kontaktstücken nicht zu vermeiden und es würde durch diese Funken ein plötzlicher Spannungsausgleich zwischen den einzelnen Reihen eintreten; um das zu verhindern, werden jedesmal beim Umschalten gleichzeitig Widerstände selbstthätig eingeschaltet, welche diesem Ausgleich entgegentreten.

Bei der Thalfahrt ist eine Stromabgabe nur zum Anfahren erforderlich; im übrigen läuft der Wagen von Tettnang bis Meckenbeuren infolge des vorhandenen Gefälles von selbst, und die Geschwindigkeit wird durch Bremsen innerhalb der zulässigen höchsten Grenze von 30 *km* gehalten.

Der Fahrplan wurde dadurch festgelegt, dass es wünschenswert erschien, Anschluss an jeden in der Station Meckenbeuren haltenden Staatsbahnzug zu haben, von denen täglich zwölf in jeder Richtung verkehren. Die Verkehrserhebungen liessen bei dieser Zugzahl eine grösste Zugstärke von einem Personen- und zwei beladenen Güterwagen als ausreichend erscheinen, was einem grösstem Zuggewicht von etwa 48 *t* entspricht.

Die Steigungsverhältnisse mussten ziemlich ungünstig werden, da Tettnang 50 *m* höher gelegen ist als die Station Meckenbeuren. Die Linie steigt erst allmählich mit 1 : 500, um nach einigen Schwankungen bei 2,0 *km* in eine Steigung 1 : 50 überzugehen, die bis zur Station Tettnang, abgesehen von der Unterbrechung durch eine kurze Steigung 1 : 66, beibehalten wird. Der kleinste Krümmungshalbmesser von 180 *m* kommt nur einmal vor, fällt jedoch mit der Steigung 1 : 50 zusammen. Für diese ungünstigste Stelle der Bahn sind für einen vollbelasteten Zug ermässigte Anforderungen an die Geschwindigkeit gestellt und hierfür 10 *km* angenommen. Bei einer solchen Geschwindigkeit berechnet sich die erforderliche Arbeit für den vollbelasteten Zug zu 39 PS, während auf gerader, wagerechter Strecke bei 25 *km* Geschwindigkeit eine Arbeit von nur 12 PS nötig wird.

Um die, an der Wagenachse zu leistenden 39 PS zu erzeugen, wurden, um sicher zu gehen, in den Motoren 30 %, den Leitungen 10 %, der Dynamo 9 %, der Transmission 7 % Verluste angenommen.

Der wesentlich grössere Arbeitsaufwand in der Steigung liess es wünschenswert erscheinen, das tote Gewicht der Züge thunlichst zu vermindern, und es wurde daher auch von der Anwendung einer eigentlichen elektrischen Lokomotive abgesehen, vielmehr die Personenwagen als Motorwagen ausgebildet.

Nach einiger Betriebszeit dieser Bahn zeigte sich, dass der Verschiebedienst mit dem gewöhnlichen Motorwagen einige Schwierigkeiten macht. Der Führer kann von seinem Stande aus schwer die Rückwärtsfahrt übersehen. Daher macht Heimpel den sehr berechtigten Vorschlag, eine für derartige Zwecke recht charakteristische Wagenform zu verwenden, wie sie Fig. 159 zeigt.

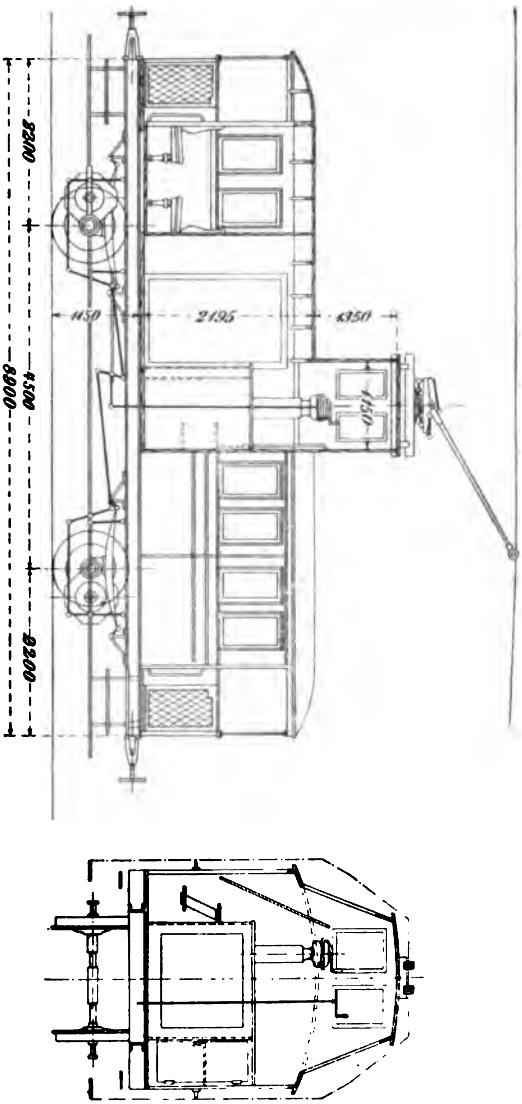


Fig. 159.

Hier soll der Wagenführer über das Wagendach sehen können, um sowohl vor- wie rückwärts Gleis, Weichen, Wagen und Personen, die das Kuppeln besorgen, beobachten zu können. Das Ladeprofil lässt diesen Aufbau gerade noch zu.

Für den Oberbau wurden als zulässiger Raddruck 5 *t* angenommen und dementsprechend eine Stahlschiene von 22 *kg*/*m* Gewicht und 9 *m* Länge verwendet. Jede Schiene ist auf elf kiefernen Querschwellen verlegt.

Die Konstruktion der Motorwagen war durch folgende Bedingungen ziemlich genau vorgeschrieben:

1. Durch das Bedürfnis, die Wagen mit allen Fahrzeugen der Hauptbahn zu kuppeln, war die Zug- und Stossvorrichtung und damit überhaupt das Untergestell bestimmt;



2. mit Rücksicht auf die Zugkraft durfte das Wagengewicht eine bestimmte Grenze nicht überschreiten;

3. Abteilungen II. und III. Klasse mit zusammen rund 32 Sitzplätzen und ein Raum für Post und Gepäck waren vorzusehen.

Die Figuren 160, 160a und 161 stellen den Motorwagen dar. In der Mitte liegt der durch seitliche Schubthüren zugängliche Gepäckraum, in den ein kleiner Verschlag für Poststücke eingebaut ist. An die Gepäckabteilung schliessen sich beiderseits Personenabteilungen an, auf einer Seite die II. Klasse mit 11, auf der anderen die III. Klasse mit 21 Sitzplätzen. Die Personenabteilungen sind von den Plattformen an den Wagenenden durch Schubthüren zugänglich. Die Plattformen sind mit Seitenthüren versehen, sodass sie bei stärkerem Personenverkehr auch besetzt werden können. Der Wagenführer hat dort seinen Platz und bedient die Handbremse und den Schalter.

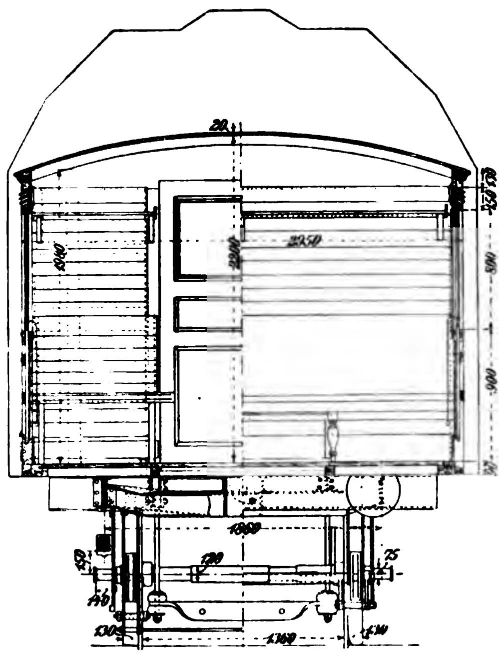


Fig. 161.

Das Gestell ohne Puffer ist 8800 *mm* lang. Entsprechend dieser Länge und den zu befahrenden Krümmungen wurde ein fester Radstand von 4500 *mm* gewählt. Für den Bau neuer Wagen sind Lenkachsen vorgesehen, die auch bei auf den Achsen sitzenden Motoren zulässig sind.

Jede der beiden Achsen wird durch einen auf einer Vorgelegewelle sitzenden Motor von 25 PS mittels Zahnradübersetzung angetrieben. Die beiden Motoren sind hintereinander geschaltet; anfangs bestand die Möglichkeit, sie auch parallel zu schalten, um in den schwächeren Steigungen ohne Anhängewagen rascher fahren zu können; diese Schaltung wurde indess wieder fallen gelassen, da sich ein Bedürfnis dafür nicht zeigte und nur die Drahtführungen unter dem Wagen verwickelter wurden. Der Stromabnehmer ist die übliche Rolle.

Ein dienstfähiger Motorwagen wiegt 14 *t*, ein Beiwagen 9,3 *t*. An Güterwagen sind lediglich zwei gedeckte Wagen für den Ortsverkehr beschafft.

4. Stuttgart—Cannstatt.

Während die soeben beschriebene Bahn eine neue, von vornherein für elektrischen Betrieb eingerichtete Anlage darstellt, ist die nachfolgende dem Bedürfnis entsprungen, auf bestehender Staatsbahnlinie eine häufigere Zugfolge bei geringer Verkehrsdichte einzurichten. Für diese Wünsche arbeitete die Dampflokomotive denkbar ungünstig und war die Einführung eines elektrisch betriebenen Akkumulatorenwagens von vornherein im Vorteil. Man wollte anderseits nicht gleich Stromleitungen für direkte Stromzuführung wählen, um an den bestehenden Anlagen nichts ändern oder hinzufügen zu müssen. Im übrigen zeigt sich der Akkumulatorenbetrieb für derartig spärlichen Betrieb, wie hier, im Vorteil gegenüber dem Leitungssystem.

Die Aktiengesellschaft Elektrizitätswerke (vormals O. L. Kummer & Co.) in Dresden-Niedersedlitz in Gemeinschaft mit der Akkumulatorenfabrik-Aktiengesellschaft in Berlin haben daher für die Württembergische Staatsbahn-Verwaltung einen Vollbahn-Akkumulatorwagen hergestellt, der überall dort in Verwendung kommen kann, wo Bahnhöfe berührt werden, auf welchen die Ladung der Batterie bewerkstelligt werden kann.

Der Wagen (Fig. 162) ist ein gewöhnlicher Personenwagen III. Klasse mit 48 Sitzplätzen, Mittelgang und zwei Plattformen. Derselbe lief bisher auf zwei Achsen und wurde zum elektrischen Betriebe mit zwei Drehgestellen von je 1,7 *m* Radstand versehen, von denen eines mit mechanischer Doppelbremse, das andere mit zwei Elektromotoren von je 35 PS ausgerüstet ist; das letztere Drehgestell wird nur elektrisch gebremst.

Die Akkumulatorenbatterie ist in einem unterhalb des Wagens zwischen den Drehgestellen federnd aufgehängten, zum Ausschieben auf Rollen gelagerten Kasten untergebracht. Sie besteht aus 188 Zellen, deren Gesamtgewicht 5,8 *t* beträgt.

Die Ladung der Batterie erfolgt in zwei Reihen mit einer Spannung von 240 Volt, während die Entladespannung der in einer Reihe geschalteten Batterie 340 Volt, die Kapazität 16 Kilowattstunden beträgt. Die Ladung wird auf einem besonderen Gleis vorgenommen, neben welchem sich der Ladeständer befindet; derselbe besteht in einer ca. 1,7 *m* hohen gusseisernen Säule, in welche die Ladekabel einmünden. Er enthält ausser den notwendigen Sicherungen einen doppelpoligen Ausschalter und zwei Lademelder. Die letzteren zeigen

dem Wärter die beendete Ladung für jede Batteriehälfte durch Ertönen einer Klingel und das Fallen einer Scheibe an.

Der Vorgang der Ladung spielt sich in folgender Weise ab:

Nach Ankunft des Wagens stellt der Wärter einen am Wagen befindlichen doppelpoligen Umschalter auf »Ladung«, wodurch die Trennung der bisher hintereinander geschalteten Batterie in zwei Hälften erfolgt. Dadurch wird zugleich die Schaltung in der Weise geändert, dass es unmöglich ist, durch ein etwaiges Verstellen der Steuerungsvorrichtung während der Ladung eine Hintereinanderschaltung der Batteriehälften vorzunehmen. Nun werden durch eine Leitungsschnur mit Steckkontakten

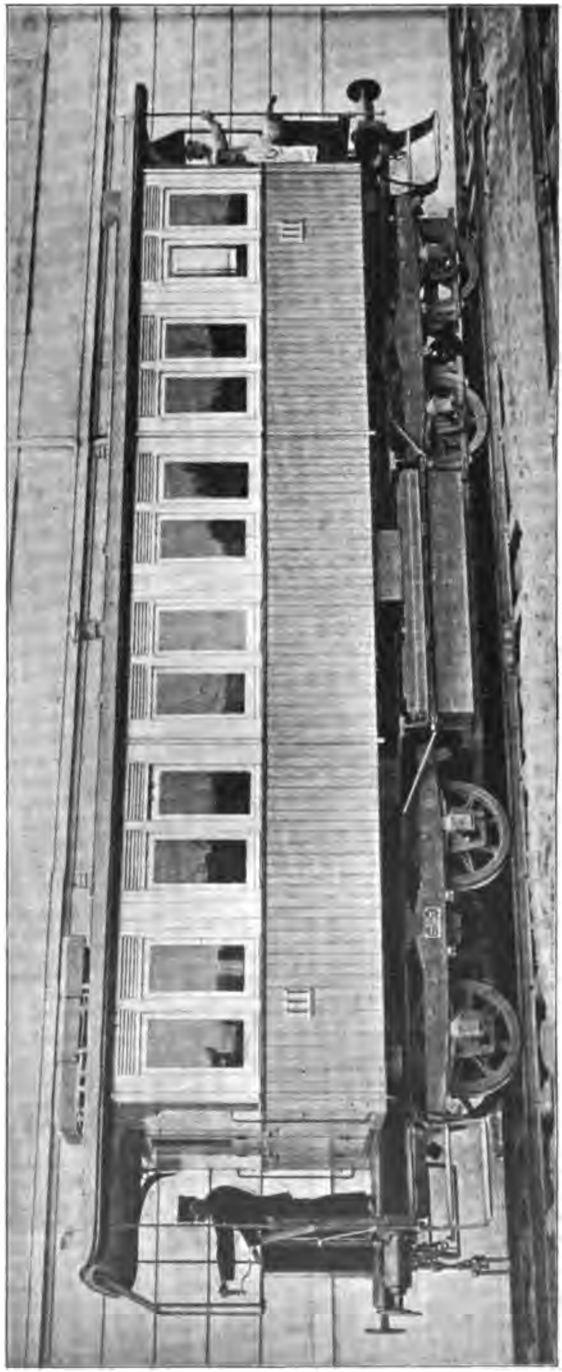


Fig 162.

die Pole der Batterie mit den Klemmen am Ladeständer verbunden. Die Steckkontakte können erst nach Einstellen auf Ladung in die Anschlussdose des Wagens eingeführt und dann nicht wieder daraus entfernt werden, so lange Strom durch die Ladekabel fliesst. Der doppelpolige Umschalter besitzt ausser der Stellung »Ladung« und der Stellung »Fahrt«, sowie der Stellung »Halt« noch eine Notstellung. Hierbei ist die Batterie in zwei Reihen geschaltet, sodass der Wagen bei etwaigem Schadhaftwerden eines Elementes oder dergl. noch mit Hilfe einer Batteriehälfte weiterfahren kann. Was die Beleuchtung anbelangt, so hat die Erfahrung gelehrt, dass gerade während der Ladung das Bedürfnis nach Licht vorhanden ist. Demgemäss wird bei der Stellung des Umschalters auf Ladung die Anzahl der brennenden Lampen im Verhältnis zu der höheren Ladespannung vermehrt, wobei eine der mehr brennenden Lampen als transportable Handlampe ausgebildet werden kann. Selbstverständlich können die Lampen auch während der Dauer der Ladung abgeschaltet werden.

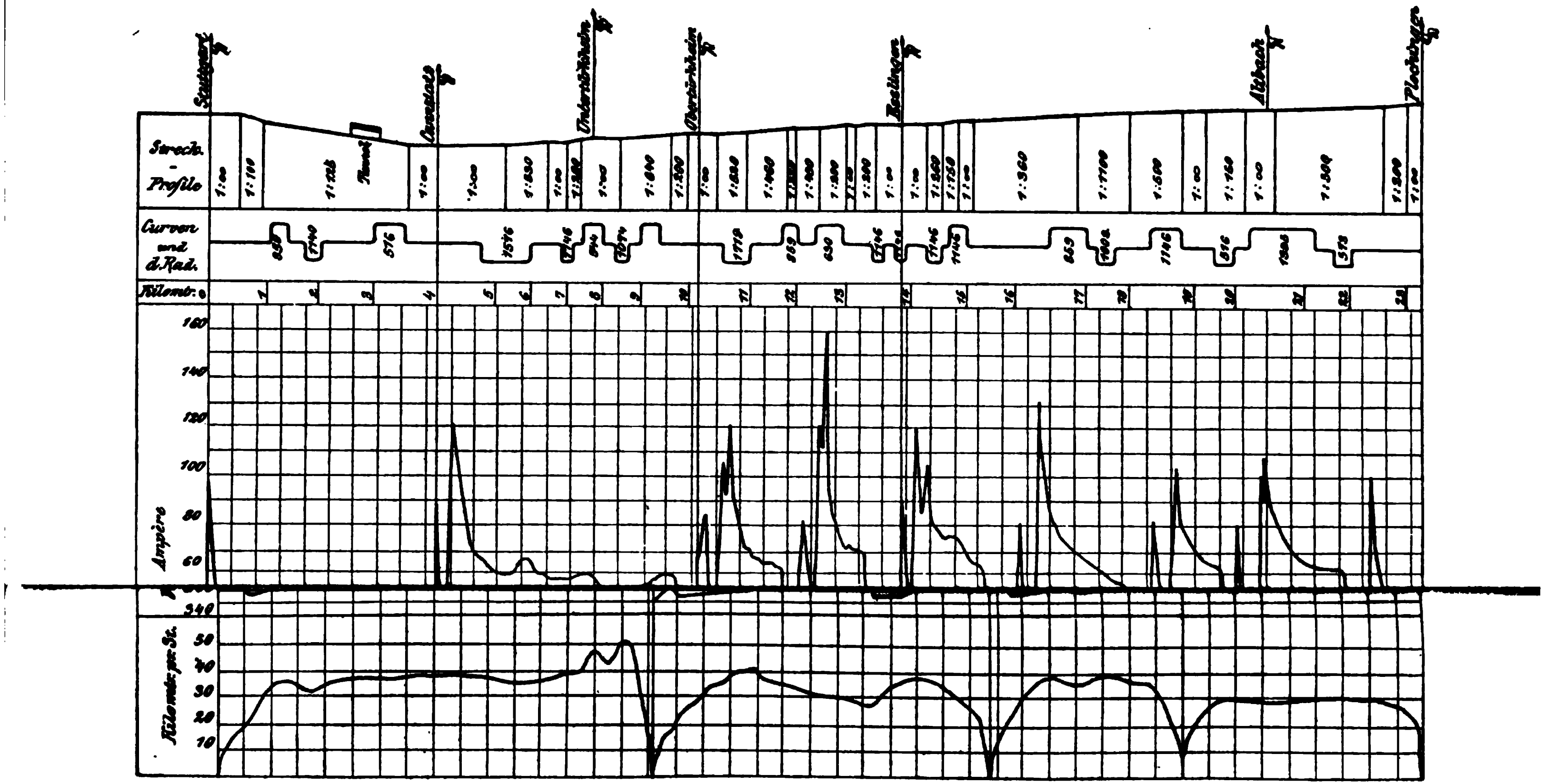
Zwei Schalter für die Fahrt befinden sich auf den Plattformen und sind mit der Doppelbremse für das eine Drehgestell derartig kombiniert, dass von der Schalterwelle aus zugleich die mechanische Bremsung erfolgt, wenn der Wagenführer ausschaltet. Der Wagenführer hat demgemäss nur einen Hebel zu bedienen, mit dem er fahren, anhalten und bremsen kann. Ein anderer kleiner Hebel dient lediglich zur Einstellung der Hauptgeschwindigkeit bei Beginn der Fahrt und zum elektrischen Bremsen oder Rückwärtsfahren.

Mit diesem Wagen, der für den regelmässigen Verkehr zwischen Stuttgart—Cannstatt bezw. für die Umgehungsstrecke Untertürkheim—Kornwestheim bestimmt ist, wurden vor der Betriebseröffnung Messfahrten zwischen Stuttgart und Plochingen am 19. September 1897 vorgenommen und die in den Fig. 163a und 163b dargestellten Diagramme gewonnen. Diese Diagramme sind besonders lehrreich, da alle für Bahnen in Betracht kommenden Verhältnisse daraus ersichtlich sind. Neben dem Längsprofil und dem Kurvenband der Strecke sind die Stromspannungs- und Geschwindigkeitskurven ersichtlich gemacht. Den hohen Anfahrstromstärken entspricht naturgemäss jedesmal eine Spannungsverminderung.

Die sich aus Diagramm I ergebende mittlere Stromstärke beträgt 43,42 Ampère, für die Fahrt in umgekehrter Richtung nach Diagramm II 49,93 Ampère, die mittlere Spannung 373 bezw. 362 Volt und die mittlere Geschwindigkeit 28,7 *km*/Std. bezw. 30,9 *km*/Std. Nach der Formel:

$$W_1 = \frac{E \cdot J}{V \cdot T},$$

worin E die Spannung, J die Stromstärke, V die Kilometergeschwindigkeit/Stunde, T das Wagengewicht (28,75 *t*) bedeutet, ist



Schiemann, Bahnen II. Fig. 163 b. Leipzig, Oskar Leiner.

strecken, zunächst versuchsweise, entschloss. Direktionsrat Geyer berichtet hierüber das Folgende: Als Versuchsstrecken wurden die Linien Ludwigshafen—Neustadt (30 *km*) und Ludwigshafen—Worms (22 *km*) gewählt. Die Versuche begannen Ende Januar 1896. Die bei den Akkumulatoren sich ergebenden Anstände wurden behoben, sodass Ende 1898 Batterien zur Verfügung standen, die den gestellten Ansprüchen nach jeder Richtung hin in befriedigender Weise entsprachen. Nunmehr konnten auch neue, dem Akkumulatorenbetrieb besser entsprechende Wagen angeschafft werden, zwei vierachsige von 17,8 *m* Länge und 3 *m* Breite mit je 112 (bei Benutzung eines Endabteils als II. Klasse 106) Sitz- und Stehplätzen, zwei dreiachsige mit je 68 Sitzplätzen. Je nach Bedürfnis fahren die Wagen allein oder mit 1—2 Anhängewagen à 50 Sitzplätzen. Die Motorwagen sind nach Art der D-Wagen gebaut, mit einem mittleren Längsgange. Die Ecken sind zur Verminderung des Luftdruckes etwas abgeschrägt. An jedem Ende befinden sich zwei Thüren, ausserdem sind aber an den Seiten je sechs Thüren vorhanden. Unter 26 der 36 aufklappbaren Sitzbänke befinden sich Holzkästen zur Aufnahme der Akkumulatoren, unter den übrigen 10 Sitzbänken sind Heizkörper für Brikettheizung untergebracht.

Der elektromotorische Teil besteht aus zwei vierpoligen Motoren, die in dasselbe Drehgestell eingebaut sind. Ein Wagen wiegt vollbesetzt 53 *t*, wovon 15 *t* auf die Akkumulatoren entfallen. Die letzteren haben eine entsprechende Reserve, um nicht zu tief entladen zu müssen, was die raschere Abnahme der Lebensdauer zur Folge haben würde. Die positiven Platten, mit geringerer Lebensdauer als die negativen, werden nach 30—40000 Wagenkilometern in regelmässigem Turnus mit neuer Masse bestrichen, womit gute Erfahrungen gemacht worden sind. Die Geschwindigkeit der Wagen ist normal 45 *km* pro Stunde. Mit drei oder vier vorhandenen Wagen werden zur Zeit täglich 443 *km* in 24 Fahrten zurückgelegt. Der vierte Wagen dient als Reserve. Ausser den oben genannten beiden Strecken verkehren die Wagen auf folgenden Linien: Ludwigshafen—Schifferstadt und —Frankenthal, Neustadt—Landau und —Dürkheim, Landau—Winden und —Annweiler. Der mittlere Wirkungsgrad der Batterie ist 65%. Die Anschaffungskosten eines betriebsfertigen Wagens mit allem Zubehör betragen 55000 ℳ, wovon 32500 ℳ auf den elektrischen Teil entfallen. Die Gesamtbetriebskosten pro Wagenkilometer stellen sich auf der Linie Ludwigshafen—Neustadt auf 27,5 ₰, welcher Betrag sich aber durch die Verbindung der Ladestation mit der Beleuchtungscentrale, deren Personal das Laden der Akkumulatoren mitbesorgt, auf 21 ₰ ermässigt, gegen 28 ₰ pro Zugkilometer für einen gleichwertigen Dampfzug. Der

Akkumulatorenbetrieb hat bei den Versuchen seine Brauchbarkeit auf Vollbahnen erwiesen, er hat sich rasch eingeführt, der Gunst des Publikums stets zu erfreuen gehabt und er hat auch eine ansehnliche Verkehrssteigerung hervorgebracht. Die Akkumulatoren selbst haben zu keinen nennenswerten Störungen Anlass gegeben. Die Furcht davor als Traktionselement ist durchaus berechtigt; wenn man sie zunächst verwendet in dem beschränkten Raum des Omnibusverkehrs, so ist dieser Betrieb auf den meisten Strecken schon als gelöst zu betrachten.

Auch die Linie Bologna—St. Felice ist mit Akkumulatorenbetrieb geplant. Sie hat eine Gleislänge von 84 *km* (Hin- und Rückweg gerechnet) bei einer maximalen Steigung von $6^0/_{00}$. Der Güterverkehr wird mittels Dampf bewerkstelligt, während der Personenverkehr durch vier Akkumulatorenwagen bewirkt wird. Jeder Wagen enthält 60 auf zwei Klassen verteilte Plätze. Der mittlere Teil des Wagens wird durch einen Gepäckraum für das Gepäck der Reisenden und Eilpackete gebildet. Bei voller Belastung wiegt der Wagen 45 *t* und unter gewöhnlichen Verhältnissen reicht eine Ladung für 100 *km* aus. Der Wagen wird von zwei Ganz'schen Motoren von je 50 PS, die eine Zugkraft von 750 *kg* entwickeln können, getrieben. Die Akkumulatoren sind vom Pescetto-Typus. Jedes in einen Ebonitkasten montierte Element besteht aus 8 positiven und 9 negativen Platten. Jeder Wagen enthält 282 in 12 Kästen untergebrachte Elemente, die zu drei Batterien gruppiert sind. Das Gewicht eines Elementes beträgt 24 *kg* und seine Kapazität 140 Ampèrestunden. Ein Fahrschalter, Type Ganz & Co., mit doppelter Kurbel gestattet die Parallel- oder Reihenschaltung der drei Batterien bezw. der Motoren. Bei Hintereinanderschaltung der Batterien und Hintereinanderschaltung der Motoren beträgt die Geschwindigkeit 45 *km* in der Stunde, bei Hintereinanderschaltung der Batterien und Parallelschaltung der Motoren 75 *km*. Die elektrische Beleuchtung der Wagen wird von einer Batterie gespeist, welche den Strom unter einer Spannung von 36 Volt liefert. Jeder Wagen enthält eine Westinghouse-Bremse und eine Luftpfeife. Der Motor der Druckluftpumpe wird von derselben Batterie betrieben, welche auch die Traktionsmotoren speist.

Am 8. Februar 1899 wurde auf der 13 *km* langen Eisenbahnstrecke Mailand—Monza der elektrische Betrieb eröffnet. Die Züge bestehen nur aus einem Doppelwagen, der 64 Sitz- und 20 Stehplätze enthält. Solcher Züge werden täglich 22 abgelassen, 11 nach jeder Richtung. Der Betrieb erfolgt durch Akkumulatoren, die den Zügen eine Geschwindigkeit bis zu 60 *km* in der Stunde verleihen. Die elektrischen Maschinen der neuen Züge sind von der Nürnberger

Elektrizitäts-Aktiengesellschaft, vormals Schuckert & Co. geliefert worden. In Italien verfolgt man den neuen Betrieb mit sehr grosser Spannung, da man die Hoffnung hegt, in absehbarer Zeit das gesamte italienische Eisenbahnnetz mit elektrischer Kraft zu betreiben und sich dadurch von dem Tribut zu befreien, den Italien gegenwärtig für Kohle an das Ausland zu entrichten hat, da ja Italien keine Kohlenlager besitzt. (Näheres in der Schweizerischen Bauzeitung, 4. März 1899, S. 80; Z. d. V. d. Ing. 1899, Heft 12, S. 341; ETZ 1899, Heft 13, S. 240).

5. Wannsee-Bahn.

Die preussische Eisenbahnverwaltung will an dieser Anlage sich selbst ein Bild über den elektrischen Vollbahnbetrieb machen und hat zu diesem Zwecke allerdings das denkbar günstigste Objekt ausgewählt. Die Wannsee-Bahn hat heute bereits einen 10 Minutenverkehr (im Sommer sogar bis zu 5 Minuten) mit Dampfbahnzügen von zehn Wagen. Sie ist zweigleisig, läuft bis Zehlendorf mit der Potsdamer Bahn parallel auf dem gleichen, zu vier Gleisen ausgebauten Bahnkörper und dient nur allein dem Personenverkehr zwischen Berlin und den westlichen Vororten. Hier würde ein Akkumulatorenbetrieb ebenso ungünstig sein, wie er bei der vorher beschriebenen Anlage günstig war.

Der elektrische Versuchsbetrieb auf der Wannsee-Bahn bei Berlin wird von Richard Rinkel in der Z. d. V. D. Ing. 1900, Heft 36, eingehend beschrieben, und sei hier das Wichtigste auszugsweise mitgeteilt.

Im Monat August 1900 ist der elektrische Versuchszug der Wannsee-Bahn dem öffentlichen Verkehr übergeben worden und fährt an Stelle eines Dampfzuges täglich mehrere Male die Strecke zwischen Berlin-Wannseebahnhof und Station Zehlendorf hin und zurück. Der Antrieb des langen Zuges durch zwei Motorwagen, von denen der eine schiebt, der andere zieht, die Schaltvorrichtungen, Kuppelungen und Stromabnehmer für die ausserordentlich hohen Stromstärken von 1200 Ampère u. dergl. sollten unabhängig von amerikanischen Verhältnissen durchgeprobt werden. Hier zum ersten Male soll sich ein elektrischer Betrieb mit Stromzuführung auf einer Vollbahnlinie in Deutschland in einen normalen Dampfbetrieb einfügen, wobei viele Schwierigkeiten zu Tage treten.

Ein einziger, zwischen den Dampfzügen laufender elektrischer Zug kann natürlich nicht die eigentlichen Vorteile des elektrischen Betriebes im besonderen für Vorortverkehr ersichtlich machen, weil diese sich gerade erst in der Verkehrsbewältigung durch zahlreiche, in kurzen Abständen laufende kleine Züge zeigen können. Die

Besserung der Verkehrsverhältnisse in Bezug auf Häufigkeit und Schnelligkeit, die für das Vorortpublikum so ausserordentlich wichtig ist, kann erst eintreten, wenn der elektrische Betrieb durchweg vorhanden sein wird. Ebenso können erst dann die finanziellen Ergebnisse beurteilt werden.

Ein massgebender Vergleich der Kosten des Dampfbetriebes und des elektrischen Betriebes wird auf Grund der Versuchsergebnisse nicht aufgestellt werden können. Verglichen darf zunächst nur die in beiden Fällen für die Zugförderung erforderliche, am Zuge selbst gemessene Betriebskraft werden, aber nicht der Verbrauch im Krafthause, weil die Leitungsverluste jetzt natürlich weit höher sind als bei einer für vollständigen elektrischen Betrieb richtig angeordneten Verteilung und Bemessung von Maschinen, Batterien und Leitungen. Ein Hauptzweck des Versuchsbetriebes auf der Wannsee-Bahn ist eben der, zu der Erkenntnis beizutragen, dass auch auf den Strecken grosser Eisenbahnverwaltungen der elektrische Betrieb selbst unter so schwierigen Verhältnissen durchführbar ist, wie sie die Einstellung eines einzigen schweren Zuges in einen sonst mit Dampflokomotiven betriebenen Verkehr mit sich bringt.

Um möglichst wenig aus dem Rahmen des vorhandenen Dampfbetriebes herauszutreten, wurde von der kgl. preuss. Eisenbahnverwaltung bestimmt, dass der Versuchszug dieselbe Zusammensetzung erhalten sollte wie die Dampfzüge. Er besteht demnach aus zehn Wagen der normalen Wannsee-Bahn-Form mit einem Gesamtleergewicht von 193 *t*. Das Leergewicht eines entsprechenden Dampfzuges einschliesslich Lokomotive beträgt etwa 215 bis 218 *t*, also rund 25 *t* = 13% mehr. Der Lokomotivzug braucht daher, ganz abgesehen von den höheren Eigenwiderständen der Lokomotive, um ebenso viel mehr Energie. Zu berücksichtigen ist dabei allerdings, dass vier Abteile für die Führerräume des elektrischen Zuges in Anspruch genommen sind. Der Zug enthält vier Wagen zweiter Klasse von je 17 bis 17,5 *t* Leergewicht, drei Wagen dritter Klasse von je 16,5 *t* Leergewicht, einen Wagen dritter Klasse von 10,5 *t* Leergewicht und die beiden Motorwagen dritter Klasse von zusammen 63 *t* Gewicht; hierzu wurden ebenfalls normale Wannsee-Bahnwagen benutzt, welche die erforderlichen Verstärkungen des Tragwerkes und der Achsen erhielten. Der Umstand, dass diese Wagen ohne wesentlichen Umbau mit den Motoren und der übrigen elektrischen Einrichtung versehen werden mussten, erschwerte eine zweckmässige Anordnung der letzteren ausserordentlich, sodass in dieser Beziehung, besonders was Bequemlichkeit im Führerraum und Zugänglichkeit der Motoren betrifft, manches zu wünschen übrig bleibt. Für die in Frage kommenden Versuche ist dieser Mangel

jedoch ohne Belang. Fig. 164a und 164b geben eine Ansicht des Wagenzuges und einen Blick in den Führerraum mit dem Fahrschalter.

Der eine Motorwagen, der einen Dampfkessel für die Heizung des Zuges trägt, wiegt rund 33 *t*, der zweite Motorwagen ohne Dampfkessel 30 *t*. Alle sechs Achsen der beiden Wagen sind mit Motoren versehen, sodass 63 *t* Adhäsionsgewicht vorhanden sind. Ein Dampfzug mit der gleichen Anzahl Wagen hat demgegenüber höchstens 30 bis 32 *t* Adhäsionsgewicht, die sich auf zwei gekuppelte Achsen verteilen, während 63 *t* des elektrischen Zuges auf sechs ungekuppelte Achsen entfallen, somit auch für die Tonneneinheit gerechnet eine grössere Zugkraft ergeben. Die Gleichmässigkeit des Drehmomentes eines Motors ist ebenfalls für die Ausnutzung des Adhäsionsgewichtes von grossem Vorteil, weil für die Schleifgrenze nur das konstante Moment in Betracht kommt, während bei Lokomotiven das grösste Moment bei der Kurbelstellung von etwa 90° gegen die Wagerechte massgebend ist.

Die elektrische Förderung eines Zuges von 193 *t* Leergewicht und mindestens 210 *t* Vollgewicht durch Motorwagen ist im ganzen elektrischen Bahnwesen etwas Neues. Annähernd ebenso grosse Zuggewichte weist die amerikanische Bahnlinie Hartford—Bristol—Berlin auf, auf welcher fünf Anhängewagen von 21 *m* Länge durch einen Motorwagen gezogen werden. In elektrischer Beziehung wäre es selbstverständlich richtiger gewesen, zwei Züge von je fünf Wagen in halbem Zeitabstande der Zehn-Wagenzüge laufen zu lassen; hiervon wurde jedoch seitens der Eisenbahnverwaltung abgesehen, um nicht die Einheitlichkeit des Verkehrs und des Fahrplanes zu stören.

Die Geschwindigkeit des Zuges zwischen zwei Stationen sollte mindestens 55 *km*/Std. betragen können. Setzt man einen Zugwiderstand von 6 *kg*/*t* voraus, so ergiebt sich, wenn Z die Zugkraft in Kilogramm, v die Geschwindigkeit in Kilometer/Std. bedeutet, die effektive Leistung der Motoren bei voller Fahrt zu

$$\frac{Z\,v}{270} = \frac{210 \cdot 6 \cdot 55}{270} = \text{rund } 250 \text{ PS.}$$

Die Zugleistung bei voller Fahrt kam jedoch in diesem Falle für die Bemessung der Motoren weniger in Betracht, da der enge Stationsabstand und die verhältnismässig hohe Fahrgeschwindigkeit grosse Beschleunigung verlangen.

Der Stationsabstand beträgt im Mittel 2,4 *km*, die Fahrzeit 4 Minuten. Die näheren Untersuchungen ergaben, dass für diesen Stationsabstand und die genannten verlangten Fahrzeiten eine Beschleunigung von etwa 0,18 *m*/Sek. beim Anfahren in Bezug auf den

Gesamtkraftverbrauch zweckmässig ist, und zwar muss diese Beschleunigung bis zu einer Fahrgeschwindigkeit von etwa 40 *km* gleichmässig beibehalten werden. Hiernach stellt sich die höchste Leistung für die Beschleunigung auf

$$\frac{M p v}{270} = \frac{210000 \cdot 0{,}18 \cdot 40}{9{,}81 \cdot 270} = 570 \text{ PS.}$$

Rechnet man hierzu noch mindestens 130 PS für den eigentlichen Rollwiderstand, so ergiebt sich die Höchstleistung während des Anfahrens zu 700 PS, also nahezu gleich dem dreifachen Betrage der Leistung bei voller Fahrt.

Die Frage, mit welcher Stromart der Zug betrieben werden solle, wurde einer eingehenden Prüfung unterworfen. Da die Leistungen alle 4 Minuten zwischen 0 und 700 PS schwanken, so musste von vornherein auf eine Ausgleichung der Belastung der Krafterzeugungsstelle in erster Linie Bedacht genommen werden. Bufferbatterien erwiesen sich hierfür als das einzig brauchbare Mittel, es konnte daher nur Gleichstrom in Betracht kommen. Die grösste Spannung wurde auf 750 Volt festgesetzt. Da von vornherein in Aussicht genommen war, dass der aus zehn Wagen bestehende Zug ständig zusammen bleiben solle, so empfahl es sich aus Rücksicht auf Kostenersparnis, die kleinstmögliche Zahl von Motorwagen anzuwenden. Man entschied sich für ein bislang noch nicht ausgeführtes System mit zwei Motorwagen; jeder Wagen enthält nur einen Führerstand mit den nötigen Einrichtungen und ist je an einem Ende des Zuges mit dem Führerstande nach aussen angeordnet. Beide Motorwagen nehmen gleichzeitig und gleichmässig an der Zugförderung teil und werden von dem jeweilig vorderen Führerstande aus gesteuert. Das System hat sich vollkommen bewährt. Durch die Anordnung der beiden Motorwagen an den Zugenden wird das Umrangieren auf den Endstationen vermieden und damit an Motorwagen, Zeit, Betriebskraft, sowie Bedienungsmannschaft gespart.

Neu und äusserst einfach sowohl in der Ausführung als in der Handhabung ist die Steuerung beider Motorwagen von dem jeweilig vorderen Führerstande durch die Fahrschalter (D. R.-P. 107666). Beide Motorwagen sind in elektrischer Beziehung vollkommen gleichmässig ausgerüstet. Jeder enthält drei unmittelbar auf den Laufachsen sitzende Motoren, die in sich dauernd parallel geschaltet sind. In ähnlicher Weise, wie bei Strassenbahnwagen die beiden Motoren in Reihe und parallel geschaltet werden, tritt hier dieselbe Schaltung für die beiden Motorgruppen ein. Der Vorteil dieser Anordnung liegt in der einfachen Ausbildung der Fahrschalter, sowie hauptsächlich darin, dass nur eine einzige Verbindungleitung für die Steuerung zwischen den Wagen notwendig ist.

Die Motoren haben Hauptstromwickelung; der Anker ist unmittelbar auf die Achse aufgekeilt. Dementsprechend umschliesst auch das Magnetfeld mit den Gehäuselagern die Achse ohne jedes Spiel. Die Gehäuse der Motoren des einen Wagens sind mit Federn nochmals am Wagenkasten aufgehängt und die Federn soweit angespannt, dass die Gehäuse nahezu ohne Druck auf den Achsen auflagern. Am zweiten Motorwagen sind die Motoren unabgefedert aufgehängt.

Der Motor einschliesslich Radsatz wiegt 4100 *kg*, ohne Radsatz also etwa 3000 *kg*. Die Dauerleistung bei 600 Volt und 260 Min.-Umdrehungen beträgt 70 PS. Der hohen erforderlichen Anzugkräfte wegen ist der Motor jedoch so stark gebaut, dass er die Achse bei einer Belastung von 11000 *kg* zum Schleifen bringt, für kurze Zeit also ein Vielfaches der normalen Leistung hergeben kann. Die sechs Motoren erteilten bei den Vorversuchen dem Zuge 60 *km*/Std. Geschwindigkeit auf der wagerechten Strecke.

Die Vorschaltwiderstände, die bis zu 1200 Ampère hindurchzulassen haben, sind aus breiten Rheotanblechen gebildet.

Neben der Steuerleitung befindet sich eine zweite, durch den ganzen Zug laufende Verbindungsleitung für die Stromabnehmer des

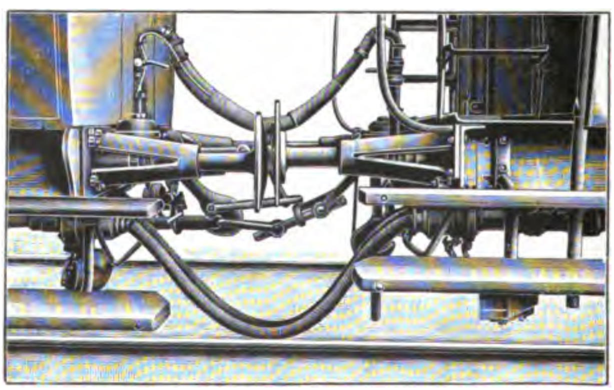


Fig. 165.

vorderen und des hinteren Wagens, an welche sämtliche Stromabnehmer parallel angeschlossen sind. Die Stromzufuhr kann hiernach auch an Weichen und Kreuzungen, wo die Leitungsschiene auf kurze Strecken fortfallen muss, nicht unterbrochen werden, da immer mindestens die Stromabnehmer eines Wagens an der Leitung anliegen. Die Fig. 165 zeigt die elektrische Kuppelung der Wagen.

Der Kraftverbrauch, auf das Tonnenkilometer bezogen, bleibt unter 25 Wattstunden/*tkm*, am Wagen zwischen Plus- und Minus-Leitung gemessen.

Der Zug wird in derselben Weise wie die Dampfzüge durch die Westinghouse-Bremse gebremst; die erforderliche Druckluft wird durch zwei in den Motorwagen aufgestellte elektrisch betriebene Kompressoren erzeugt. Die Pumpe wird durch einen von der Hauptleitung gespeissten Nebenschlussmotor angetrieben und läuft mit 170 Minuten-Umdrehung.

Die Stromzuführung und mit ihr die Stromabnahme bildeten den Gegenstand ausführlicher Erwägungen. Es wurde in Rücksicht gezogen, wegen der Gefahren, die eine Stromzuführung im Niveau der Gleise für das Bahnpersonal mit sich bringen kann, Oberleitung zu verwenden. Gegen Unvorsichtigkeit und Mutwillen lassen sich natürlich keine Vorkehrungen treffen.

Über die Einzelheiten der Stromzuleitung ist im Kapitel XIV (Stromzuführungen für Vollbahnen) näheres mitgeteilt.

Weitere Angaben über die Wannsee-Bahn finden sich in ETZ 1901, Heft 3, S. 70 und 71; Z. d. V. D. Ing. 1901, Heft 4, S. 135.

6. Orleans-Bahn.

Die französische Orleans-Eisenbahn-Gesellschaft hat ihre Strecke doppelgleisig und normalspurig gegen das Innere der Stadt Paris verlängert, um für einen grossen Teil des Eilgut- und Gepäckverkehrs, namentlich aber für die Pariser Fahrgäste einen günstiger gelegenen Endbahnhof zu gewinnen, als ihr bisheriger es war. Durch dieses Vordringen, das sich vom Bahnhofe Austerlitz bis zum Quai d'Orsay erstreckt, erfährt die Orleans-Bahn eine Verlängerung von 3,7 *km*, von denen 3,1 *km* als Tunnel ausgeführt sind. Auch der neue Endbahnhof Quai d'Orsay, welcher unmittelbar vor dem Palais des Cour des comptes seinen Platz findet, ist natürlich unterirdisch angelegt und zu neun Zehntel seiner ganzen Ausdehnung niedrig überwölbt, während nur das zehnte Zehntel für die Zu- und Abgänge an den Bahnsteigen und Auf- und Abgabebureaux, sowie für verschiedene andere Verkehrstreppen offen bleibt. Der riesige Verkehr der Orleans-Bahn, der sich auf dieser Untergrundstrecke fortsetzt und innerhalb 24 Stunden durchschnittlich auf 150 Züge beziffert, ferner der durch das Umstellen der Wagen auf dem Kopfbahnhofe Quai d'Orsay notwendig werdende längere Aufenthalt der Lokomotiven, kurz alle die obwaltenden örtlichen Verhältnisse zusammengenommen liessen von vornherein erkennen, dass hier der Dampf- und Rauchentwickelung gewöhnlicher Dampflokomotiven unbedingt ausgewichen werden müsse. Man entschloss sich also, für die Verlängerungsstrecke den elektrischen Betrieb einzuführen, und zwar um so eher, als ohnehin — abgesehen von der Zugförderung — für anderweitige motorische Einrichtungen, namentlich aber für Beleuchtungszwecke

ein namhafter Bedarf an elektrischer Energie vorlag und sonach sämtliche Verwendungen eine gewisse wirtschaftlich vorteilhafte Zusammenziehung erfahren konnten.

Auch in eisenbahnbetriebstechnischer Beziehung lagen gegen die Durchführung eines Lokomotivwechsels am Bahnhofe Austerlitz — wo die mittels Dampflokomotiven aus der Richtung von Orleans eintreffenden Züge von elektrischen Lokomotiven zu übernehmen, sowie umgekehrt die von Paris (Quai d'Orsay) kommenden von Dampflokomotiven weiterzuführen sein werden — keine Schwierigkeiten vor, weil in dieser Station fast der dritte Teil des gesamten Postverkehrs von Paris vermittelt wird und die Reisenden aus ausgedehnten Bezirken an der Peripherie von Paris und aus den anstossenden Vororten ein- und aussteigen, also ohnehin jeder Zug anhalten muss. Mit Rücksicht auf die abzuwickelnden Geschäfte beläuft sich dieser Aufenthalt auf mindestens zwei Minuten, ein Zeitraum, der völlig hinreicht, um unter Einem auch den Maschinenwechsel glatt durchzuführen.

Bevor aber zur Abfassung eines diesfälligen endgiltigen Entwurfes geschritten wurde, hatte die Eisenbahngesellschaft zum näheren Studium der Angelegenheit mehrere Fachingenieure nach Amerika entsendet, deren Reisebericht (in »Revue générale des chemins de fer«, Oktoberheft 1898) als unzweifelhaft feststellte, dass gemäss der auf der Baltimore-Ohio-Bahn im Howard-Tunnel, auf der Erie-Bahn in Hoboken, dann auf der New-York-New-Haven-Hartfort-Bahn und anderwärts in der Praxis gewonnenen Erfahrungen hinsichtlich der in Paris für die Verlängerung der Orleans-Bahn vorliegenden Verhältnisse der elektrische Betrieb nicht nur als durchaus geeignet, sondern als besonders zweckdienlich gelten dürfe. Es würde daselbst lediglich eines oder das andere der erprobten amerikanischen elektrischen Zugförderungssysteme anzunehmen sein, ohne jegliche Gefahr eines Misserfolges und ohne jede wie immer geartete Beeinträchtigung der Verkehrssicherheit u. s. w. Erst auf Grund dieses, von den Delegierten nach jeder Richtung hin vorzüglich motivierten Urteiles wurde sodann seitens der Eisenbahnverwaltung die Einführung des elektrischen Betriebes endgültig beschlossen und zuvörderst angestrebt, in nächster Nähe der in Betracht kommenden Bahnstrecke ein Elektrizitätswerk anzulegen, welches nur den für die Zugbeförderung nötigen Strom von 500—600 Volt liefern und direkt abgeben sollte. Nachdem sich aber hierin unüberwindliche Hindernisse ergaben, und auch der wirtschaftlichen Vorteile wegen entschloss man sich, in Ivry, wo die Eisenbahnverwaltung Gelegenheit gefunden hatte, unter günstigen Bedingungen ein neben dem Güterbahnhofe gelegenes, trefflich ge-

eignetes Grundstück zu erwerben, ein grosses Elektrizitätswerk anzulegen. Dasselbe wird den gesamten Energiebedarf für die Zugförderung, dann für die Beleuchtung der Tunnels und der weiter oben genannten zwei Bahnhöfe, ferner für den Betrieb von Schöpfwerken, Speisepumpen, Aufzügen, Drehscheiben, Schiebebühnen u. s. w. längs der ganzen zwischen dem Quai d'Orsay und den äusseren Festungswerken sich ausdehnenden, 6 *km* langen Bahnlinie zu decken imstande sein und für fernerhin noch beliebig erweitert werden können. Ivry ist vom Quai d'Orsay volle 5,3 *km* entfernt; es konnte sonach nur daran gedacht werden, in der Centralstation



Fig. 166.

daselbst hochgespannten Strom zu erzeugen, der an den Verwendungsstellen den Bedürfnissen angemessen umgewandelt wird. Mit Rücksicht auf eine möglichst billige Zuführung wurde Dreiphasenstrom gewählt, und unter diesen Gesichtspunkten der Entwurf zu den nachstehend zu schildernden elektrischen Anlagen ausgearbeitet, welche seitens des französischen Kommunikationsministers mit Entscheidung vom 4. August 1898 die Genehmigung erhalten haben.

Diese von der Compagnie du chemin de fer de Paris à Orleans erbaute elektrische Vollbahn vom Place Valhubert nach dem Quai d'Orsay in Paris ist am 28. Mai 1900 eröffnet worden und in Fig. 166 dargestellt.

Die Bahnlinie läuft an der Seine entlang und bildet an den Widerlagern der Brücken Kurven, deren Radius auf 200 sogar bis 150 *m* heruntergeht.

Hinter dem Bahnhof Austerlitz hat die Strecke ein Gefälle von 11 *mm* und geht unter dem Place Valhubert durch einen Tunnel von 450 *m* Länge bis zum Quai St. Bernard, von diesem Punkt ab folgt sie der Seine in einem breiten Einschnitt bis zur Pont de Sully. Dann geht sie unter die Quais und läuft dann bis zum Quai d'Orsay auf der ganzen Strecke als Untergrundbahn.

Der Bahnhof Quai d'Orsay bildet ein unregelmässiges Rechteck von 30000 *qm* Grundfläche. Er enthält im Souterrain die Gleise, die Bahnsteige und einige Bureaux. Die Wartesäle sind 6 *m* darüber in der Höhe des Strassenniveaus. Im ganzen sind 16 Gleise, von denen sechs auf der anderen Seite des Bahnhofes weiterlaufen und mit dem Bahnhof »Des Invalides« zusammen geleitet werden können. Die anderen toten Gleise führen zu einer elektrischen Lokomotiv-Schiebebühne. Die Bahnsteige sind mit den grossen Wartesälen durch 14 Treppen und 15 Aufzüge verbunden.

Die für den Betrieb der Lokomotiven, der Beleuchtung, der Pumpen u. s. w. erforderliche Energie wird in der in Ivry erbauten Kraftstation erzeugt, nahe der Pont de Tolbiac. Die Generatoren erzeugen einen Dreiphasenstrom von 5500 Volt und 25 Perioden. Es sind zwei Gruppen von Generatoren vorgesehen, die aus je einer Dampfmaschine von 1500 PS und einem Wechselstromgenerator von 1000 Kilowatt bestehen.

Der Dreiphasenstrom wird zuerst zum Betrieb der Pumpen auf eine niedrigere Gebrauchsspannung transformiert.

Für alle anderen Zwecke, für die Traktion, die Beleuchtung und die Hilfsmotoren, wird der Strom in Gleichstrom verwandelt, entweder in der Kraftstation selbst oder in Unterstationen, von denen die eine bei dem Austerlitz-Bahnhof, die andere bei dem Quai d'Orsay errichtet ist.

Die verschiedenen Teile der Maschine sind derart berechnet, dass sie sich nicht auf mehr als 40^0 nach 10 Stunden Betriebszeit bei voller Belastung erhitzen. Eine halbe Stunde lang können sie ohne Schaden mit einer Überlastung von 25% ihrer normalen und 5 Minuten lang mit einer solchen von 50% der normalen Belastung laufen.

Ihre Leistung beträgt:

95% bei voller Belastung
94% » $^3/_4$ »
92,5% » $^1/_2$ »

Die Unterstationen von Austerlitz und Quai d'Orsay sind vollständig gleich ausgerüstet. Sie bestehen einerseits aus dem Material,

welches für die Traktion erforderlich ist, und anderseits aus den Maschinen und Apparaten für die Beleuchtung.

Der Primär-Strom wird mittels isolierter Kabel drei Leitern von 75 *mm* Durchmesser zugeführt bei einer Länge von 3,5 *km* für die Station Austerlitz und von 8 *km* für die Station Quai d'Orsay.

Die Maschinen und Apparate für die Traktion sind die folgenden:

2 rotierende Umformer für 250 Kilowatt,
6 Transformatoren für 90 Kilowatt,
2 elektrische Ventilatoren für die Ventilation dieser Transformatoren,
2 Regulatoren für die Umformer und
1 Akkumulatorenbatterie.

Die Umformer, welche den Wechselstrom von 350 Volt, den sie aus dem Transformator erhalten, in Geichstrom von 550 Volt umwandeln, bestehen aus sechspoligen Dynamos, die 750 Umdrehungen machen. Die Isolationsprüfung jedes dieser Teile ist bei einer Wechselstromspannung von 5000 Volt vorgenommen worden.

Die sechs ruhenden Transformatoren setzen die Spannung von 5500 auf 350 Volt herunter. Ihre normale Leistung beträgt 90 Kilowatt und ihr Nutzeffekt bei voller Belastung 96,8 %.

Die Akkumulatorenbatterie hat die Aufgabe, bei einer Umschaltung der Maschine am Tage während einer gewissen Zeit die für die Traktion erforderliche elektrische Energie zu liefern; ausserdem während der Nacht, wenn die Maschinen still stehen, den gesamten für den Traktionsdienst erforderlichen Strom zu liefern, ferner für die Beleuchtung bei ununterbrochener Stromlieferung zu sorgen und endlich als Hauptaufgabe am Tage als Ausgleichbatterie für die Umformer zu dienen.

Die Schaltanlage für den Traktionsbetrieb besteht aus neun einzelnen Schalttafeln und zwar:

1 Schalttafel für die Speiseleitung,
2 Schalttafeln für die rotierenden Umformer,
2 Schalttafeln für die Gleichstromumformer,
1 Schalttafel für die Batterie,
1 Schalttafel für die Linie,
2 Schalttafeln für besondere Zwecke.

Die Lokomotiven, zur Zeit acht (Fig. 167), können bei einer Steigung von $10\,^0/_{00}$ einen Zug von 300 *t* (wobei die Maschine nicht mitgerechnet ist) vom Bahnhof Austerlitz nach Quai d'Orsay (3,8 *km* weit) schleppen.

Sie bestehen aus einem Stahlblechgehäuse, welches auf zwei Untergestellen ruht. Die Längsträger der Untergestelle ruhen mittels

Federn auf den Achsbuchsen und stützen mittels Zwischenfedern die Traversen für die Zapfen, um eine möglichst elastische Aufhängung zwischen dem Gehäuse und den Achsen zu erreichen.



Fig. 167.

Die Dimensionen sind folgende:

Gesamtlänge des Gehäuses	9 *m*
Höhe des Gehäuses über den Schienen	1,40 »
Gesamthöhe	3,40 »
Achsentfernung der beiden Untergestelle	4,30 »
Achsentfernung jedes Untergestelles	2,25 »
Gesamtgewicht	45 *t*.

In der Mitte der Maschine befindet sich das Maschinistenhäuschen, welches alle Steuer-, Mess- und Sicherheitsvorrichtungen enthält. Dasselbe ist 2,5 *m* lang und so breit wie die Lokomotive und ist auf allen Seiten mit Glasfenstern versehen, sodass der Maschinist nach allen Seiten freien Ausblick hat. Jede Lokomotive hat vier Motoren, die je eine Achse mittels Zahnrädern antreiben. Jeder Motor leistet 125 Kilowatt und ist derart gebaut, dass er 5 Minuten lang mit einem Strom von 600 Ampère belastet werden kann. Der geringste Nutzeffekt bei 300 Ampère ist 86 %, wobei die Verluste durch die Zahnradübertragung eingerechnet sind.

Beim Anlaufen der Lokomotive werden die Motoren zuerst in Gruppen mit Anlasswiderständen geschaltet. Die letzteren werden

allmählich bei Beschleunigung des Fahrzeuges ausgeschaltet. Die beiden Motorgruppen laufen dann in Parallelschaltung, die Widerstände werden von neuem vorgeschaltet, dann werden sie wieder allmählich ausgeschaltet. Der Kontroller besitzt für die Rückwärtsfahrt eine Umschaltvorrichtung.

Die Isolation zwischen den einzelnen Kontakten ist für die Motoren bei einer Wechselstromspannung von 2500 Volt geprüft worden.

Unabhängig vom Kontroller und den Messapparaten enthält das Führerhäuschen noch einen elektrischen Luftkompressor für die Luftdruckbremse und Pfeife.

Der Strom wird den Lokomotiven durch eine dritte Schiene zugeführt, die ausserhalb des Gleises angeordnet ist, und durch die Laufschienen.

An einigen Stellen, z. B. am Eingang zum Bahnhof Quai d'Orsay, geschieht die Stromzuführung durch eine dritte Schiene zwischen den Gleisen oder durch oberirdische Leitung. Wegen dieser drei Arten der Zuführung sind die Lokomotiven mit sechs Kontaktgleitschuhen ausgerüstet und zwar drei vorn und drei hinten. Ausserdem haben sie auf dem Dache des Führerhäuschens einen Stromabnehmer für die Oberleitung. Dieser letztere besteht aus einem Gelenkparallelogramm, welches oben in ein T-förmiges Stück ausläuft, um einen guten, dauernden Kontakt zu sichern.

7. Valtelinalinie (Lecco — Sondrio — Chiavenna).

Die 1901 eröffnete elektrische Bahn Lecco—Sondrio—Chiavenna, welche mittels Oberleitung von einer Centralstation aus betrieben wird, hat eine Länge von 110 *km*. Sie ist eingleisig gebaut, ihre grösste Steigung beträgt 22 ‰, der kleinste Krümmungsradius 300 *m*. Die Bahn geht durch zahlreiche Tunnels, besonders auf der ersten Strecke zwischen Lecco bis Colico (39 *km*), welche sich längs der Ostseite des Comer Sees hinzieht (vergl. Situation, Fig. 168). Sie dient sowohl dem Personen- als dem Güterverkehr. Die Personenzüge bestehen aus einem Motorwagen mit 300 PS-Maschinenleistung mit einem Gewicht von ca. 50 *t*, welcher 60 Reisende zu fassen vermag, und bis zu vier gewöhnlichen Anhängewagen. Die Geschwindigkeit beträgt bei einer grössten Steigung von 10 ‰ 90 *km*, bei Steigungen, welche diese Grenze überschreiten, 45 *km* in der Stunde. Die Güterzüge werden von einer elektrischen Lokomotive von 600 PS Leistungsfähigkeit und einer Zugkraft von 250 *t* bei Steigungen von 10 ‰ mit einer Geschwindigkeit von 30 *km* in der Stunde gezogen. Als Stromzuführungssystem wird hochgespannter Drehstrom verwandt und zwar sowohl für

die Zuführung als auch für die Verteilung an die Motoren. Der Drehstrom wird mit einer Spannung von 20000 Volt in dem hydroelektrischen Werke zu Morbegno erzeugt und mittels einer aus drei Leitern von 7 *mm* Durchmesser bestehenden Luftleitung den zehn längs der Linie verteilten Transformatorenunterstationen zugeführt. In den Unterstationen wird die Spannung auf 3000 Volt reduziert und der so reduzierte Strom den Motoren durch zwei 8 *mm* starke Kontaktdrähte zugeführt, während der dritte Leiter durch die Schienen gebildet wird. Die Centralstation in Morbegno enthält vier aus je einer Turbine und einer Wechselstrommaschine bestehende Maschinenaggregate von je 2000 PS. Die Turbinen sind

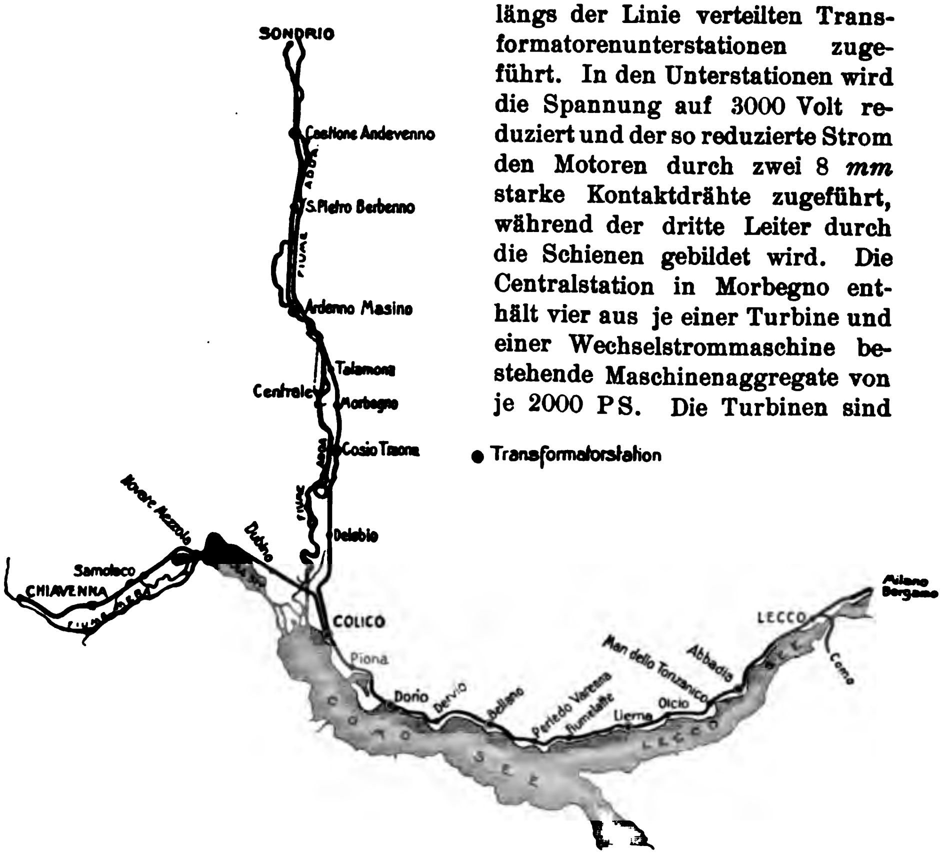


Fig. 168.

Reaktionsturbinen und mit automatischer Regulierung versehen. Die mit den Turbinen direkt gekuppelten Wechselstrommaschinen mit rotierendem Feldmagnet erzeugen einen Strom von 20000 Volt bei einer Frequenz von 15 Perioden.

Ein aus der Adda in der Nähe von Ardenno abgeleiteter Kanal von 11 *qm* Querschnitt und 4800 *m* Länge, von denen 3000 *m* in den Berg eingegraben sind, führt den Turbinen 25 *cbm* Wasser unter 30 *m* Gefälle zu. Der Strom wird den Elektromotoren durch eine besonders geformte Kontaktvorrichtung zugeführt, die aus einem

leichten mit dem Dache des Wagens gelenkig verbundenen Metallrahmen besteht. Dieser Rahmen trägt an seinem oberen Teil eine isolierende Traverse, auf welcher die beiden Kontaktrollen sitzen. Der Kontakt wird durch ein doppeltes System von Federn gesichert, die der Schaffner des Wagens von seiner Kabine aus mittels eines von der Westinghouse-Pumpe gespeisten Luftdruckkolbens bethätigen kann. Der Strom von 3000 Volt wird mittels isolierter Kabel, die durch mit den Schienen in Verbindung stehende Metallröhren geschützt sind, von der Kontaktrolle direkt den Primärwickelungen der beiden Asynchronmotoren zugeführt. Die Anker der letzteren haben Flüssigkeitswiderstände zur Regelung der Geschwindigkeit in mässigen Grenzen und zum Anfahren. Es können aber auch die Anker von zwei Motoren auf die Felder der zwei noch übrigen Motoren geschaltet werden. Wenn die vier Motoren in Gruppen zu je zwei parallel geschaltet sind (Kaskadenschaltung), ist die Geschwindigkeit der beiden beweglichen Anker praktisch die Hälfte derjenigen des ursprünglichen Drehfeldes und infolgedessen auch die Hälfte der Geschwindigkeit der Anker der beiden Motoren, deren Primärwickelung direkt von der Linie gespeist wird. Unter diesen Verhältnissen verfügt man über zwei Geschwindigkeiten, deren eine das doppelte der anderen ist (90 und 45 *km*). Bei 45 *km* Geschwindigkeit wirkt das ganze Gewicht des Wagens als Adhäsionsgewicht und die Zugkraft ist das doppelte derjenigen bei 90 *km*. Um das plötzliche Anlaufen zu vermeiden und die Geschwindigkeit zu regulieren, wird in den Stromkreis ein Flüssigkeitswiderstand eingeschaltet. Diese Regulierung der Geschwindigkeit betrifft nur den Stromkreis der Hauptmotoren, welche von dem niedrig gespannten Strom durchflossen werden. Die Isolierung der Induktionsmotoren ist ähnlich derjenigen von Transformatoren. Sämtliche von hochgespanntem Strome durchflossene Teile sind durch eine metallische mit den Schienen in leitender Verbindung stehende Umhüllung vollständig geschützt.

Das hier zur Anwendung gebrachte System wurde bereits seit Dezember 1899 auf einer 1600 *m* langen Probestrecke in Budapest erprobt. Die elektrische Installation ist von der Firma Ganz & Co. hergestellt, während die Firma Schuckert & Co. in Nürnberg die Generatoren in der Centralstation geliefert hat. Die hydraulische Anlage wurde von der Société pour la Traction Electrique sur les Chemins de fer in Rom hergestellt.

Fig. 169 zeigt einen Wagen der Valtelinalinie, Fig. 170 das Innere desselben und Fig. 171 das Untergestell des Motorwagens.

8. Burgdorf—Thun.

Am 19. Juli 1899 ist die 41 *km* lange elektrische Vollbahn Burgdorf—Thun dem Verkehr übergeben worden. Abgesehen

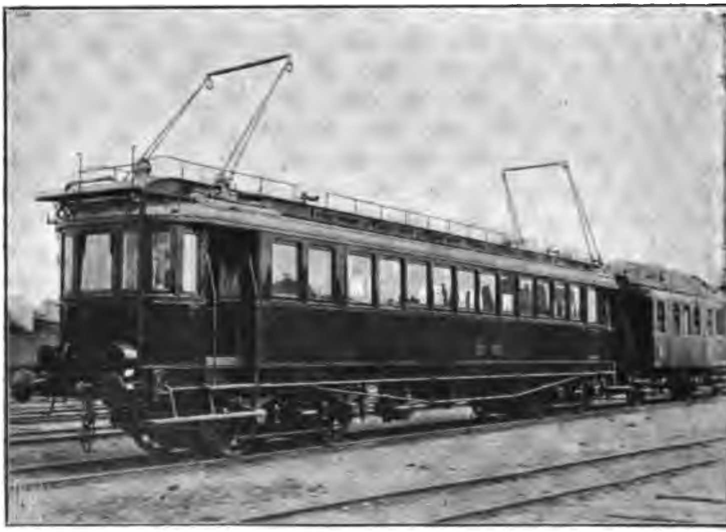


Fig. 169.



Fig. 170.

von der nur 4 *km* langen Lihie Chavornay—Orbe stellt die neue Bahn die erste Normalbahn der Schweiz dar, die durch elektrische Motorwagen betrieben wird. Diese Bahn benutzt bis zur Station Hasle das Gleis der Emmenthalbahn, von dort zweigt sie links ab und mündet in das von der »Biglen« durchflossene reizvolle und fruchtbare Seitenthal, mit den Ortschaften: Schaffhausen, Bigenthal, Walkringen und Biglen, um über Gross-Höchstetten in Konolfingen die Linie Bern—Luzern der Jura—Simplon-Bahn zu berühren. Vom Bahnhof Konolfingen, der beide Linien bedient, folgt die neue Bahn

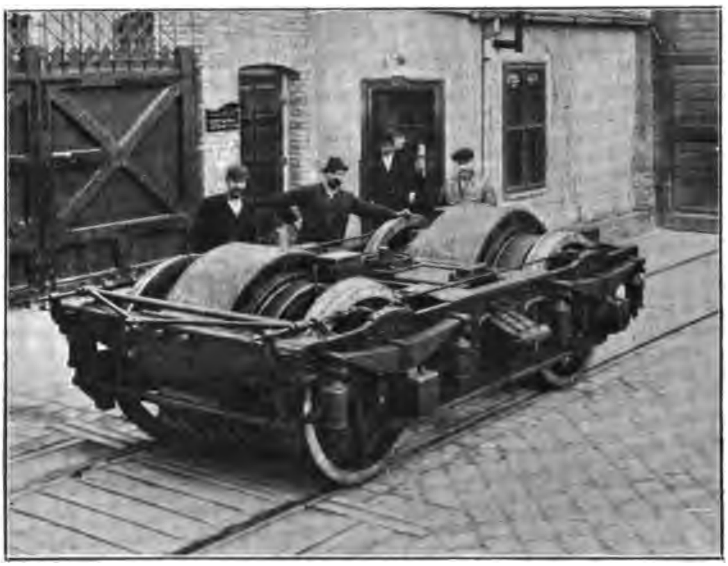


Fig. 171.

zuerst dem Laufe des Kiesenbaches und erreicht über Stalden, Diessbach, Brenzikofen, Heimberg und Steffisburg den Bahnhof Thun der Schweizerischen Centralbahn. Die elektrische Energie zum Betrieb der Bahn liefert das Kanderwerk bei Spiez am Thunersee in der Form von Dreiphasenwechselstrom mit einer Primärspannung von 15000 Volt. Bis nach Thun wird die Leitung von eisernen Gittermasten und von Thun bis Burgdorf von hölzernen, ausserhalb des Bahnkörpers befindlichen Masten getragen. Vierzehn Transformatorenstationen, mit einer Maximalleistung von 450 Kilowatt, ermässigen die Spannung von 15000 auf 750 Volt Drehstrom, der für den Betrieb direkt verwendet wird. Die Kontaktleitung besteht aus zwei hart gezogenen Kupferdrähten von 8 *mm* Durchmesser; die Schienen bilden den dritten Leiter. Die Kontaktleitung wird

durch Queraufhängungen zwischen Holzmasten getragen, die zu beiden Seiten des Bahnkörpers aufgestellt sind. Die normale Entfernung von zwei Queraufhängungen beträgt 35 *m*. Das Rollmaterial der Bahn besteht zur Zeit aus sechs Motorwagen von 32 *t* Gewicht und einer entsprechenden Zahl von Anhängewagen. Die Motorwagen sind mit vier Motoren von je 55—60 PS-Leistung ausgerüstet und haben 66 Sitzplätze. An jeden Motorwagen kann auch auf der stärksten Steigung ein gewöhnlicher Wagen von 55 Sitzplätzen II. und III. Klasse oder von 70 Sitzplätzen III. Klasse angehängt werden. Die Fahrgeschwindigkeit beträgt durchweg 36 *km* in der Stunde. Sämtliche Wagen sind mit Hand- und Westinghouse-Bremse ausgerüstet und elektrisch beleuchtet. Die Motorwagen haben elektrische Heizung, die Anhängewagen Dampf- und elektrische Heizung. Für den Güterverkehr sind zwei elektrische Lokomotiven vorhanden, deren jede auf den stärksten Steigungen (25 $^0/_{00}$) 100 *t* befördern kann. Jede dieser Lokomotiven hat zwei Motoren von je 150 PS und sie können entweder mit einer Geschwindigkeit von 18 oder einer solchen von 36 *km* in der Stunde fahren. Selbstverständlich sind auch diese mit der gewöhnlichen und Westinghouse-Bremse ausgerüstet. Neben dem elektrischen ist auch noch Dampfbetrieb in Aussicht genommen, eine Massregel, die sich in der Zukunft bewähren dürfte. Denn einerseits ist die Elektrizität allein immer noch vielfachen Zufälligkeiten und Störungen ausgesetzt und es wird Zeiten geben, in welchen man über diese Reserve, die ja leicht von der Emmenthalbahn zu beschaffen ist, froh sein wird; anderseits aber war dadurch die Möglichkeit gegeben, die Anlage nicht auf den Maximalkonsum von Elektrizität einrichten zu müssen, was die Kosten bedeutend erhöht hätte. In Zeiten grossen Verkehrs, wie sie etwa bei Festen und an Sonntagen vorkommen, kann der Dampf der Elektrizität helfend zur Seite stehen. Es sind also keine feindlichen Brüder, die sich bekämpfen, sondern einträchtige, die sich unterstützen. Aus diesem Grunde ist neben der elektrischen Heizung auch noch die Dampfheizung für die Anhängewagen eingerichtet. Der von der schweizerischen Industriegesellschaft Neuhausen gelieferte Fahrpark entspricht allen Anforderungen der modernen Technik; die Wagen, auch diejenigen III. Klasse, sind elegant und bieten allen Komfort. Die elektrischen Einrichtungen der Bahn wurden von der Firma Brown, Boveri & Cie. in Baden ausgeführt. Zwischen Burgdorf und Thun sind 13 Zwischenstationen eingeschaltet. Da die Linie 41 *km* lang ist, so beträgt die mittlere Entfernung von Station zu Station etwa 3 *km* und es wird somit bei der konstanten Zugsgeschwindigkeit von 36 *km* durchschnittlich alle fünf Minuten angehalten. Die Aufnahmegebäude sind einfach, aber hübsch und

praktisch ausgeführt. Sämtliche Stationen sind elektrisch beleuchtet. Besondere Transformatoren, die zum Teil an die Primär-, zum Teil an die Kontaktleitung angeschlossen sind, ermässigen die Spannung von 15000 bezw. 750 Volt auf 150 Volt.

Weitere Litteratur vergl. Schweizerische Bauzeitung, Bd. XXXV, No. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 11, 17.

9. Düsseldorf — Crefeld.

Diese elektrische Kleinbahn mit vollbahnartigem Charakter, bietet insofern ein besonderes Interesse, als auf offener Strasse eine Geschwindigkeit von 40 *km*/Std. zur Durchführung gelangte.

Die Gesamtlänge der Linie von der Haroldstrasse in Düsseldorf bis zur Rheinstrasse in Crefeld beträgt 22,2 *km*. Die Länge der freien Strecke zwischen Haltestelle Oberkassel und Haltestelle Bahnhof Crefeld 16,7 *km*.

Die grösste Steigung der Bahn wird durch die beiderseitigen Rampen der neuen, festen Rheinbrücke gebildet und ist hier 1 : 40.



Fig. 172.

Die kleinsten Krümmungshalbmesser betragen 20 *m*, welcher Umstand einen bedeutenden Einfluss auf die Wagenausführungen hatte.

Die Stromzuführung erfolgt oberirdisch und mittels Bügels. Fig. 172 zeigt die Oberleitungsanlage.

Die dem Fernverkehre dienenden Motorwagen mussten mit Rücksicht auf die kleinen Krümmungshalbmesser in den Stadtbezirken

und mit Rücksicht auf ein ruhiges Fahren bei den hohen Fahrgeschwindigkeiten als vierachsige Salonwagen für 50 Personen Fassungsraum ausgeführt und mit Normalspurdrehgestellen bei einem Radstande von 1640 *mm* und bei einem Raddurchmesser von 800 *mm* versehen werden. Die Entfernung der Drehzapfen war zu 5,9 *m* und die grösste Länge zwischen den Buffern zu 12,4 *m* angenommen. Fig. 173 zeigt das Untergestell mit Motor.

Unter den Plattformen sind drehbare Kupplungen zum Ankuppeln von Anhängewagen, sowie Räumer vorgesehen.

Als Antriebsmaschinen sind zwei auf je einer Drehgestellachse sitzende 40 PS-Motoren gewählt, die die Laufachse unmittelbar bethätigen. Die Kraftübertragung durch Zwischenglieder ist somit vermieden, sodass hierdurch ein bedeutend geräuschloseres und betriebsicheres Laufen der Wagen erzielt wird. Gerade diese Einrichtung war für die Kleinbahn Düsseldorf—Crefeld bei ihrer hohen Fahrgeschwindigkeit von einschneidender Bedeutung.

Die Bremsung der Motorwagen kann auf dreierlei Weise erfolgen, und zwar gewöhnlich durch eine Luftdruck- oder Handbremse und im Falle der Not durch die elektrische Kurzschlussbremse. Die Luftpumpen werden durch einen kleinen Elektromotor angetrieben, der je nach dem Luftbedarf selbstthätig in und ausser Betrieb gesetzt wird.

Mit Rücksicht auf die grössere Sicherheit der Stromabnahme und die bessere Schonung der Motorkollektoren sind die Motorwagen mit zwei Stromabnehmern (Schleifbügel) versehen.

Fig. 174 zeigt einen vierachsigen Motorwagen mit zwei vierachsigen Anhängewagen beim Durchlaufen der S-Krümmung, Ecke Bahn-, Kronprinzen- und Kanalstrasse in Crefeld, während Fig. 175 und 176 das Innere des Salonwagens darstellt.

10. Verschiedene Bahnanlagen und -Projekte.

Nachdem nunmehr einige für Vollbahnen charakteristische Anlagen mit Oberleitung und Niveauleitung, mit stationären und transportablen Akkumulatoren, mit Lokomotiven und Motorwagen beschrieben wurden, erübrigt es noch, einiger Anlagen und Projekte im In- und Auslande Erwähnung zu thun.

Die hier folgenden Notizen sind den verstreut vorgefundenen Litteraturangaben entnommen.

Am 17. April 1894 wurde in der Schweiz eine normalspurige elektrische Eisenbahn dem Betriebe übergeben. Die 4 *km* lange Linie Orbe—Chavornay, der Société des usines d'Orbe gehörend, verbindet den Bahnhof der Jura-Simplon-Bahn in Chavornay mit dem 22,8 *m* höher gelegenen Städtchen Orbe. Diese elektrische

normale Nebeneisenbahn vermittelt den Personenverkehr von und nach der Station der Hauptbahn, dient aber zugleich auch zur Beförderung von Normalbahngüterwagen ohne Umladung.



Fig. 175.

Das Gleis liegt mit 2200 *m* auf der öffentlichen Landstrasse, während die beiden Anschlussstücke mit einer Grösststeigung von 25 $^{0}/_{00}$ und Krümmungen bis 156 *m* Halbmesser auf eigenem Bahn-

körper hergestellt sind. Eine Kreuzungsstelle ist auf der durchgehend eingleisig angelegten Bahn nicht vorhanden, dagegen wurden an den beiden Endstationen die nötigen Ausweich- und Wagenaufstellgleise mit elektrischer Einrichtung ausgerüstet.

Auf der unteren Station werden die für Orbe bestimmten Güterwagen beim Güterschuppen der Hauptbahn, bis wohin die elektrische Leitung geführt ist, abgeholt. Die Zuleitung des elektrischen Stromes erfolgt oberirdisch durch den über der Gleismitte gespannten Fahr-



Fig. 176.

draht, und die Fahrschienen leiten ebenfalls den Strom. Als Stromabnehmer dient ein an einer Stange befestigter beweglicher Löffel. Der Personenverkehr ist vom Güterverkehr getrennt und wird von einem mit zwei Motoren, System Thury, versehenen, 11,5 *t* schweren Personenwagen mit Durchgang und zwei Endplattenformen durchgeführt, welchem Wagen nötigenfalls, wenn die 45 Plätze nicht genügen, ein weiterer gleich gebauter Personenwagen ohne Motor angehängt wird. Für den Transport der Güterwagen, sowie als Reserve für den Personenverkehr ist eine elektrische Lokomotive vorhanden, die imstande ist, einen geladenen Normalgüterwagen von 20 *t* Totalgewicht zu befördern. Sie ist in Form eines kleineren gedeckten Güterwagens von 3 *m* Radstand bei 7,4 *m* totaler Länge

mit zwei Endplattformen gebaut, von welcher letzteren aus die Bedienung des Schalters und der Bremse erfolgt. Das Gewicht dieses Fahrzeuges beträgt leer 9800 *kg*, und ist ein Maximal-Ladegewicht von 6200 *kg* vorgesehen. Die beiden Motoren sind, wie beim Personenwagen, einerseits am Untergestell elastisch aufgehängt und stützen sich mit dem anderen Ende auf die Wagenachse, welche sie durch Räderübersetzung direkt antreiben. Die höchste Fahrgeschwindigkeit auf der horizontalen Linie beträgt 24 *km*/Std., während auf der anhaltenden Steigung von 25 $^0/_{00}$, welche zugleich in einer grossen Krümmung von 200 *m* Halbmesser liegt, die Fahrgeschwindigkeit etwa 10 *km* beträgt.

Zwischen Türkheim und Wörrishofen i/B. wurde am 15. August 1896 der Betrieb auf einer elektrisch betriebenen Nebenbahn eröffnet, nachdem die Verwaltung der bayerischen Staatseisenbahnen die Ausführung der Bahn, sowie der Betriebsmittel geprüft hatte. Diese Prüfung erstreckte sich auf den Nachweis, dass die Betriebsmittel, der Bahnkörper und der Oberbau thatsächlich dazu ausreichen, um den gesamten bestehenden Güterverkehr in seiner Maximalausdehnung und zwar gleichzeitig mit dem Personenverkehr zu bewältigen. Zu diesem Zwecke wurde die Bahn vor Betriebseröffnung in Einhaltung des vorgeschriebenen Fahrplanes während eines ganzen Tages in ihrer Maximalleistung betrieben, einer Leistung, welche die thatsächlichen Verhältnisse weit übertrifft. Die durchgeführten Dauerversuche wurden so vorgenommen, dass jeder der Motorwagen zwei vollbeladene Güterwagen von je 10000 *kg* Tragfähigkeit in voller Fahrgeschwindigkeit mitnehmen musste, woraus sich eine Zugkraft der Motorwagen von 43 *t* ergab. Diese Motorwagen sind übrigens Personenwagen mit zwei Abteilungen für I. und III. Klasse, welche auf je zwei Drehgestellen ruhen.

Die Bahnanlage selbst mündet in den Staatsbahnhof Türkheim ein, und zwar das Hauptgleis der Bahn überschreitend, sodass die elektrischen Züge direkt vor dem Bahnhofsgebäude halten. Der Verkehr auf genannter Bahn ist ein ausserordentlich lebhafter und der Betrieb ein voll zufriedenstellender.

Von der Aktien Gesellschaft Elektrizitäts-Werke (vorm. O. L. Kummer & Co.) in Dresden wurde im Jahre 1897 die Nebenbahn Aibling—Feilnbach (Wendelstein-Bahn) eröffnet, welche sowohl dem Personen-, als auch dem Güterverkehr dient. (ETZ 1897, S. 339.)

In Brüssel und Lüttich sind mit elektrisch betriebenen Vollbahnwagen Versuche angestellt worden. Es sind zu diesem Zwecke vier Wagen von je 15 *m* Länge, mit Durchgängen, für je 75000 Frcs. gebaut worden; jeder dieser Wagen wiegt etwa 40 *t*. Man rechnet

darauf, dass die 100 *km* in einer Stunde und einigen Minuten zurückgelegt werden können, wogegen die internationalen Schnellzüge gegenwärtig noch über $1^{1}/_{2}$ Stunde brauchen. Der Betrieb geschieht mit Akkumulatoren. Diesen Versuchen wird man mit Interesse entgegensehen, zumal es sich um eine Strecke handelt, die in bedeutendem Masse auch dem internationalen Verkehre dient.

Nach Mitteilungen italienischer Blätter soll die Gesellschaft der Mittelmeerbahnen beabsichtigen, den Personen- und Güterverkehr durch den Mont-Cenis-Tunnel für elektrischen Betrieb einzurichten. Die Gesellschaft hat einen diesbezüglichen Vertrag mit der Oberitalienischen Elektrizitätsgesellschaft abgeschlossen. Ergiebt der elektrische Betrieb günstige Resultate, so wird beabsichtigt, die ganze Strecke Mondane—Turin für elektrischen Betrieb einzurichten.

Die Linie Mailand—Gallarate wird doppelgleisig ausgeführt und hat eine Länge von 40 *km*. Von Gallarate zweigen drei eingleisige Linien ab; die eine 26 *km* lang nach Arona am Langensee, eine zweite 31 *km* lang nach Laveno, ebenfalls am Langensee und eine dritte 33 *km* lang nach Porto Ceresio am Luganer See. Alle diese Linien werden jetzt mit Dampf betrieben; nach Einführung des elektrischen Betriebes sollen jedoch die Dampfzüge ganz ausfallen. Es ist beabsichtigt, auf der Hauptlinie Mailand—Gallarate in jeder Richtung stündlich fünf Züge verkehren zu lassen, von denen einige Eilzüge sein werden. Auf den drei Anschlusslinien soll in jeder Richtung stündlich ein Zug verkehren. Der Fahrdienst wird durchgeführt werden mit 20 Motor- und 20 Anhängewagen, von denen jeder 75 bezw. 99 Fahrgäste aufnehmen kann. Die Motorwagen haben zwei Drehgestelle und werden mit vier Motoren ausgerüstet. Die Eilzüge werden die Strecke Mailand—Gallarate in 30 Minuten zurücklegen, was einer Fahrgeschwindigkeit von 80 *km* pro Stunde entspricht. Den Berechnungen für Stromverbrauch ist die Einheit von 65 Wattstunden pro Tonnenkilometer zu Grunde gelegt.

Das für den Betrieb in Aussicht genommene System ist die Arbeitsübertragung mittels Drehstrom und die Arbeitszuführung mittels Gleichstrom. Die Kraftstation wird in dem Orte Tornavento, 11 *km* von Gallarate entfernt, errichtet, wo 11000 PS dem Flusse Tessin entnommen werden können. Da jedoch die hydraulischen Arbeiten längere Zeit in Anspruch nehmen werden und man Wert darauf legt, den elektrischen Betrieb möglichst bald zu eröffnen, so wird neben der Wasserkraftanlage eine Dampfcentrale gebaut, welche im Anfang allein die Stromlieferung übernehmen wird, später jedoch, d. h. nach Vollendung der Wasserkraftcentrale nur als Reserve dienen soll. Die Dampfcentrale wird ausgerüstet mit acht Wasserrohrkesseln von je 290 *qm* Heizfläche, den nötigen Vorwärmern und

Dampfpumpen und drei Dampfdynamos. Die Dampfmaschinen sind Tandem-Compound-Kondensationsmaschinen, die normal 1400, maximal 2000 PS leisten und deren jede einen 750 Kilowatt-Drehstromgenerator antreibt. Die Primärspannung ist 13000 Volt und wird mittels doppelter Oberleitung von 7,8 *mm* Draht, also im Ganzen sechs Drähten, nach Gallarate übertragen. Von dort aus gehen die drei Zweigleitungen ab, deren Drahtstärke 4,6 und 7,8 *mm* sind. Im Ganzen werden fünf Unterstationen aufgestellt und mit Transformatoren und rotierenden Umformern ausgerüstet. Drei Unterstationen bekommen je zwei Umformer von 500 Kilowatt und die beiden anderen Unterstationen bekommen je einen Umformer von 250 Kilowatt. Die Luftleitungen werden soweit thunlich neben der Bahn geführt, und zwar ist die Entfernung von der nächsten Schiene 4,9 *m*, während die Höhe des untersten Drahtes über dem Erdboden 7 *m* beträgt. Wo die Bahn durch Tunnels führt, wird jedoch die Hochspannungsleitung nicht im Tunnel verlegt, sondern aussen herumgeführt. Es werden Holzmasten mit hölzernen Kreuzarmen verwendet. Die Entfernung der Maste beträgt 40 *m*. Eigentümlich ist, dass entgegen der amerikanischen Praxis Eisen- und nicht Holzpinnen zur Befestigung der Isolatoren verwendet werden. Die Pinne bekommt jedoch eine Kappe aus Porzellan und erst auf diese wird der eigentliche Isolator montiert. Der Abstand der Drähte voneinander beträgt 50 *cm*. Der Verlust in der Hochspannungsleitung soll 1,8 % sein, während der gesamte Nutzeffekt der Übertragung von der Schalttafel in der Kraftcentrale bis zu der Stromentnahme der Züge gerechnet im Mittel 80 % betragen soll. Der Gleichstrom von 650 Volt Spannung wird dem Motorwagen mittels »dritter Schiene« zugeführt. Diese hat die Form einer gewöhnlichen Vignol-Schiene und wiegt 45,5 *kg* für das Meter. Sie wird in Längen von 12 *m* auf besonderen Isolatoren in einem Abstand von 67 *cm* von der nächsten Laufschiene verlegt. Die Stösse werden mit Laschen abgefangen und durch einen sorgfältig hergestellten Bund elektrisch verbunden. Die Motorwagen erhalten auf jeder Seite zwei Gleitschuhe, ein Paar für jede Fahrrichtung, sodass die Abnahme des Stromes von der dritten Schiene an zwei Punkten erfolgt. Bei Kreuzungen und Wegeübergängen ist die dritte Schiene unterbrochen und die elektrische Verbindung durch ein unterirdisch verlegtes Kabel hergestellt. Die Rückleitung des Stromes erfolgt durch die Laufschienen in der gewöhnlichen Weise.

Von der Elektrizitäts Aktiengesellschaft vorm. Schuckert & Co. ist die norwegische Vollbahn Hafslund—Sandesund hauptsächlich als Güterbahn erbaut worden.

Von dem russischen Ministerium für Verkehrswege verlautet, dass beschlossen sei, demnächst auf den Bahnstrecken St. Petersburg—Warschau und auf den baltischen Linien eine Reihe von Versuchen mit elektrischen Motoren an Stelle des Dampfmaschinenbetriebes vornehmen zu lassen, und zwar soll eine Geschwindigkeit von 80 Werst in der Stunde verlangt sein.

Ebenso hat die Verwaltung der Arad—Czánader Eisenbahn in Ungarn beschlossen, auf einem Teile ihrer Linien den elektrischen Betrieb einzuführen.

In Amerika schweben ebenfalls unzählige Projekte für elektrische Vorort- und Überlandbahnen, von denen nur einige hier



Fig. 177.

genannt sein mögen. So soll u. a. demnächst eine Linie von Milwaukee durch Cuhady und die Städte Lake und Oak Creek, Caledonia, Mt. Pleasant u. s. w. nach Kenosha errichtet werden, deren Gesamtlänge ungefähr 26 *km* ist.

Eine grössere Linie wird für Kalifornien geplant, welche durch das Sonoma- und das Napathal führen und zwei der fruchtbarsten Gegenden des Landes zu verbinden bestimmt ist. Dieselbe wird 180 *km* lang sein.

Die deutsche Litteratur über Vollbahnen und Vollbahnprojekte ist in den letzten Jahren mehr gewachsen, als die thatsächlichen Ausführungen hier zu Lande. Manche recht beachtenswerte Vor-

schläge sind darin verzeichnet und kann daher auf dieselbe verwiesen werden. Vergl. ETZ 1900, Heft 52, S. 1079; ETZ 1900, Heft 18, S. 355; ETZ 1899, Heft 46, S. 795 betreffend Umwandlung der Berliner Stadt- und Ringbahn.

Über das Thema der elektrischen Fern- und Schnellbahnen werden die nächsten Jahre endgültiges Material liefern, sodass es heute verfrüht erscheint, in diesem Werke weiter auf dieses Thema einzugehen. Über die Vorversuche, mittels hochgespannten Drehstromes Schnellbahnen zu betreiben, berichtet Namens der Siemens & Halske, A.-G., Walter Reichel in der ETZ 1900, Heft 23 eingehend.

Die Firma Ganz & Co. in Budapest hat auf der Ofener Insel einen Versuchsbetrieb zu gleichen Vorstudien veranstaltet. In der Fig. 177 ist die Versuchsstrecke mit der Versuchslokomotive dargestellt. Die Lokomotive selbst zeigt Fig. 28.

Über eine elektrische Schnellbahn zwischen Liverpool und Manchester berichtet »Elektrizität« 1900, Heft 4, S. 86, über Vollbahnen in Italien ETZ 1900, Heft 22, S. 444.

In Deutschland hat sich, ebenso wie in Frankreich, eine Studien-Gesellschaft für elektrische Schnellbahnen gebildet, über deren Resultate bald Näheres verlauten dürfte. (Vergl. Z. d. V. d. Ing. 1901, Heft 36, S. 1261 ff.).

VIII.

Stromzuführungen für Vollbahnen.

Die im Kapitel IV des ersten Bandes beschriebenen Wagenkontakte eignen sich nur für Bahnen untergeordneter Bedeutung, die in Deutschland unter dem Namen Kleinbahnen zusammengefasst sind. Für viele Bahnen, bei denen einmal grössere Geschwindigkeit, zum anderen eine grössere Stromentnahme und zum dritten andere Betriebsverhältnisse massgebend sind, genügen diese bisher üblichen Wagenkontakte und Stromleitungen nicht.

Je nach Art und Bedürfnis unterscheidet man auch hier Hochleitungen und Niveauleitungen, und die Kontaktvorrichtungen können in beiden Fällen sowohl Schleifkontakte als auch Rollkontakte sein.

1. Hochleitungen.

Für Transportbahnen, wie eine solche in Fig. 178, 179a und b zur Darstellung gebracht ist, hat die Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin die Stromleitung doppelt angeordnet, um grössere Berührungsflächen zwischen Fahrdraht und Wagenkontakt zu haben und dabei nicht die Schmiegsamkeit der Fahrleitung einzubüssen. Zu diesem Zwecke sind zwei parallel nebeneinander isoliert aufgehängte 8 *mm* Kupferdrähte auf elastischen Seilkonstruktionen aufgehängt. Der Strom wird durch zwei walzenförmige Bügel abgenommen. Da diese Walzen nur eine beschränkte Nachgiebigkeit in vertikaler Richtung besitzen, musste die ganze Fahrleitung so montiert werden, dass stets eine gute Berührung gewährleistet ist. Die Berührungsfläche ist bei dieser Konstruktion vervierfacht gegenüber den gewöhnlichen Kontaktvorrichtungen. Die Fahrleitung und ihre Aufhängungsseile ragen nicht in das Lichtraumprofil der Bahn hinein, während die stromabnehmenden Walzen aus dem Wagenprofil heraustreten. Sollte die elektrische Lokomotive als Wagen in einem Güterzuge auf Vollbahnen befördert werden müssen, so würden die Stromabnehmer leicht entfernt werden können. Diese hier beschriebene Anordnung ist für Gleichstrom bestimmt, und die Fahrschienen werden zur Leitung mitbenutzt.

In den Fig. 180—182 ist eine ebenfalls von der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft vorgeschlagene Leitungsanlage zur

Anschauung gebracht. Die Stromabnehmer sind so angeordnet, wie dies der Querschnitt der Figur andeutet. Die Fahrleitungen sind,

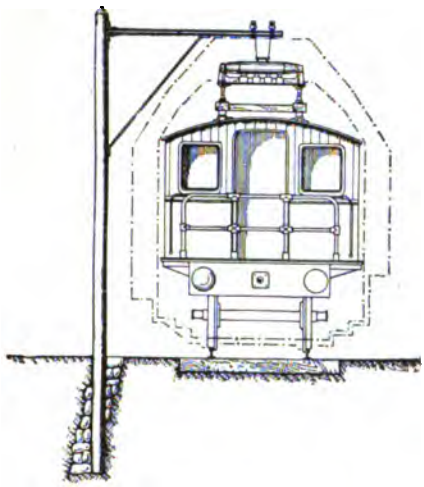


Fig. 178.

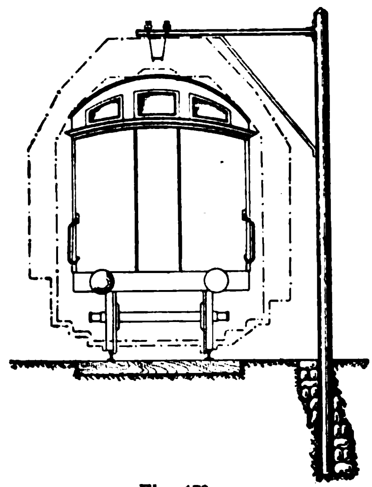


Fig. 179a.

da sie gegeneinander Potentialdifferenz besitzen, möglichst weit auseinander gelegt und ragen nicht in das Lichtraumprofil der Bahn

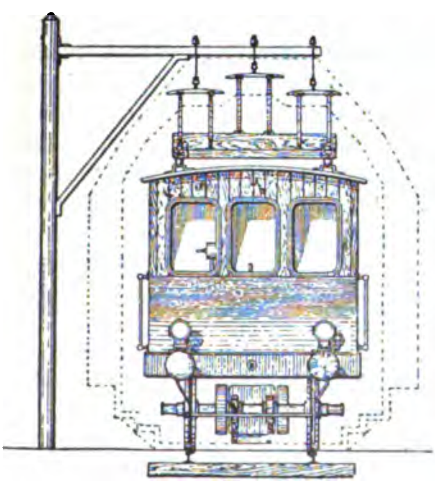


Fig. 180.

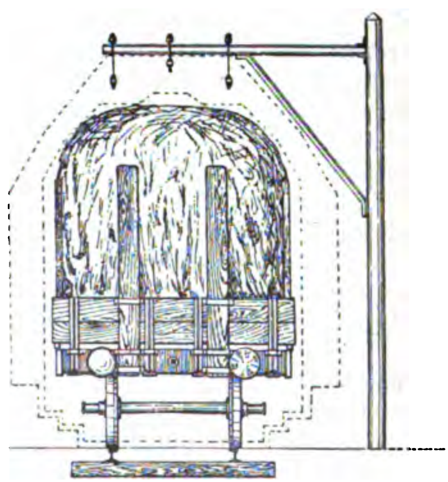


Fig. 181.

hinein, während die Stromabnehmer naturgemäss wieder über das Wagenprofil hinausragen müssen.

Die auf dem Dache der Lokomotive angebrachten Stromabnehmer bestehen aus drei, auf je zwei federnden Stahlbändern befestigten

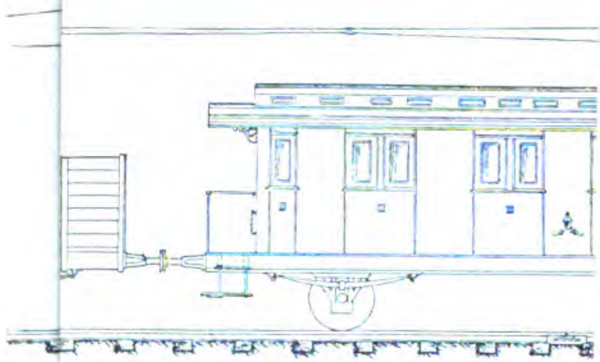
Schleifbügeln aus Aluminium, von denen der mittlere gegen die beiden äusseren isoliert ist, während letztere unter sich leitende Verbindung haben. Die zweipolige Fahrleitung besteht aus 8 *mm* Kupferdrähten. Dieselben sind etwa alle 20 *m* mittels besonderer, nicht isolierender Klemmen an Spanndrähten aufgehängt, welche in Entfernungen von 40 *m* an Auslegermasten befestigt und durch gewöhnliche Porzellan-Isolatoren untereinander und von der Erde isoliert sind. Durch diese Art der Aufhängung wird es gleichzeitig ermöglicht, den Spanndraht zur Stromleitung mit zu benutzen. Der eine der beiden Fahrdrähte befindet sich über der Mitte des Gleises, während der andere in einem wagerechten Abstande von 725 *mm* an der einen und bezw. anderen Seite des Mitteldrahtes aufgehängt ist.

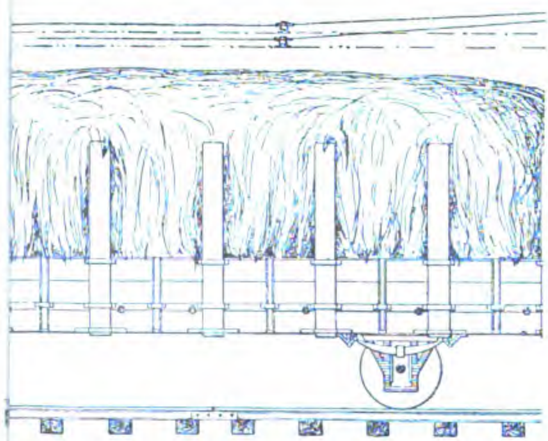
Der Mitteldraht liegt an jeder Stelle 190 *mm* höher als der Seitendraht. Der tiefste Punkt des Mitteldrahtes liegt 4990 *mm* und derjenige des Seitendrahtes 4800 *mm* über Schienenoberkante. Es beträgt demnach der Abstand von der Umgrenzungslinie für die festen Teile der Betriebsmittel für den Mitteldraht mindestens 4990 — 4280 = 710 *mm* und für den Seitendraht 4800 — 4150 = 650 *mm*, sodass eine Berührung der Drähte mit irgendwelchen Teilen der Eisenbahnwagen ausgeschlossen ist.

Von den drei Schleifbügeln werden im allgemeinen immer nur der Mittelbügel und einer der beiden Seitenbügel in Wirksamkeit treten; nur am Anfang einer Weiche oder Kreuzung werden beide Seitenbügel für eine kurze Strecke gleichzeitig zur Stromabnahme benutzt, da hier ein Wechsel der beiden Seitenbügel in dem Sinne eintreten muss, dass der im geraden Gleis unbenutzte Seitenbügel im abzweigenden Gleis die Stromleitung besorgt und der vorher thätige nunmehr unbenutzt bleibt. Der Mittelbügel behält hierbei stets mit dem Mitteldraht Berührung und der unbenutzte Seitenbügel kann unter dem Mitteldraht hindurchgehen, ohne diesen zu berühren, da die höchste Lage, welche der Seitenbügel erreichen kann, tiefer liegt als der tiefste Punkt des Mitteldrahtes.

Von der Anwendung einer Kontaktrolle üblicher Konstruktion muss mit Rücksicht auf die häufig wechselnde Fahrtrichtung, sowie wegen der in diesem Falle erstrebenswerten Vermeidung von Luftweichen Abstand genommen werden.

Die bereits erwähnte Lokomotive der Baltimore—Ohio-Bahn machte eine ganz besondere und für hohe Stromstärken geeignete Stromzuführungsanlage nötig. Hier durfte man nicht mit Fahrdrähten rechnen, sondern musste schwere Profileisen in die Luft hängen, um in denselben breite Kontaktschuhe von der in Fig. 183 gezeichneten Form laufen lassen zu können.





Dieser Stromabnehmer hat etwa die Form eines Weberschiffchens. Er ist nicht federnd gegen die Oberleitung gepresst, wie die Rolle üblicher Konstruktion, sondern läuft in dem Hohlraum, der von den Z-Schienen gebildet wird.

Die Oberleitung besteht aus zwei Z-Eisen, die gegen eine Deckplatte genietet sind, nach unten einen Schlitz für den Kontakt freilassend; sie wiegt rund 45 *kg*/*m* und ist in Abständen von etwa

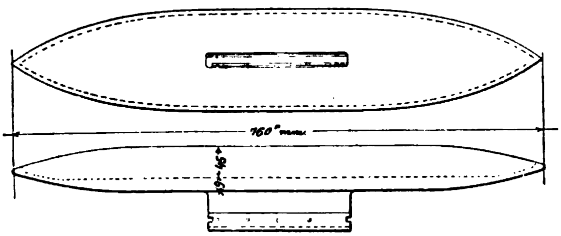


Fig. 183.

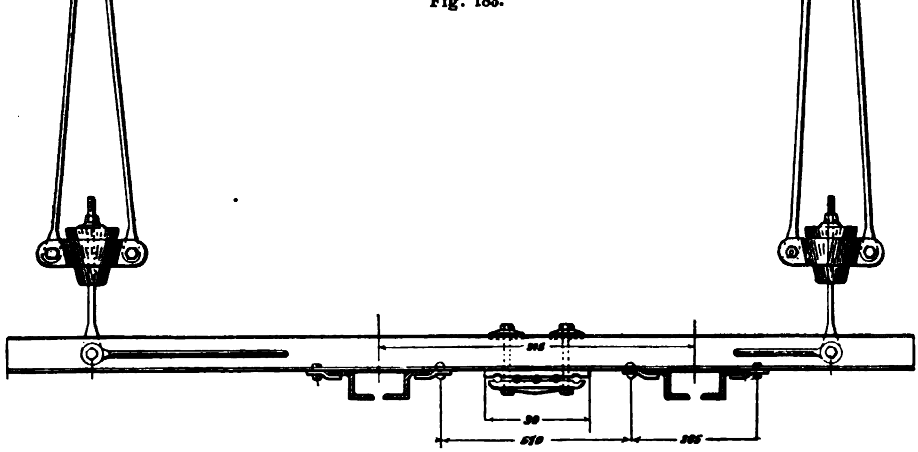


Fig. 184.

5 *m* mittels Klammern an einem Querträger aus I-Eisen befestigt. Dieser Querträger trägt gleichzeitig auch die Oberleitung des Nachbargleises, und um seine Längendimensionen zu reduzieren und um im Tunnelgewölbe an Höhe zu gewinnen, wurden die Oberleitungen beider Gleise aus der Gleisachse heraus einander genähert. Ausserhalb des Tunnels sind die I-Träger in etwa 5 *m* Abstand an einer Gelenkstange aufgehängt, die ihrerseits in etwa 50 *m* Abstand an Gitterträgern, die das Gleis überbrücken, aufgehängt sind. Die Strom führenden Z-Eisen haben eine Länge von rund 9 *m*, der elektrische Kontakt zwischen ihnen ist durch kupferne Verbindungen gesichert.

Der Querschnitt der beiden Z-Eisen-Stromleitungen ist nebst Aufhängung in der Geraden und in Kurven in Fig. 184—186 dargestellt und zeigt die Stromleitungsschienen und die an demselben Gestänge hängenden Speiseleitungen auf freier Strecke, während Fig. 187 dieselben in der Tunnelstrecke zeigt. Die schweren Eisenleitungen müssen natürlich auf sehr massiven Säulen und Hänge-

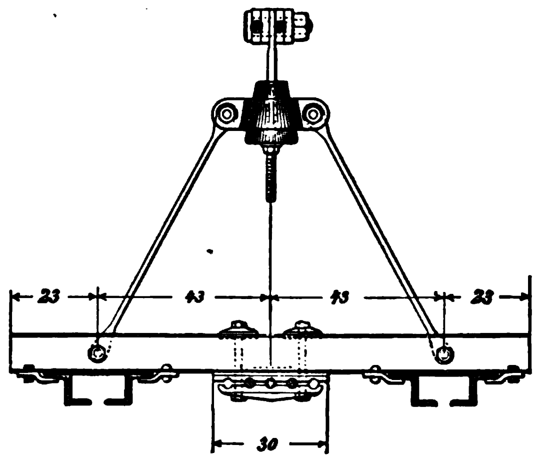


Fig. 185.

werken befestigt werden, von denen Fig. 186 ein schematisches Bild für die geraden Strecken und für die Kurven von der Seite gesehen zeigt. Fig. 188 und 189 zeigen photographische Darstellungen dieser Stromleitungen in der thatsächlich ausgeführten Form. Das für diese Leitungsanlage notwendige Gerüstwerk macht einen überwältigenden Eindruck und lässt keineswegs dem Gedanken Spiel, dass man etwa bestrebt sein würde, weitere derartige Ausführungen zu verwirklichen. Es war diese Anlage die erste, welche für sehr hohe Stromstärken gebraucht wurde. Dieselbe soll sich bisher gut bewährt haben, ohne deswegen vorbildlich für weitere Stromzuführungsanlagen dieser Art geworden zu sein. In Fig. 190 ist der Stromabnehmer in Seiten- und Vorderansicht gezeigt. Derselbe besitzt eine denkbar günstige Nachgiebigkeit nach allen Seiten, was um so mehr nötig ist, als die Stromleitung nicht immer genau über Mitte Gleis montiert ist.

Die äussere Form des Stromabnehmers ist die eines ausziehbaren Parallelogrammes, um dem Höhenunterschied der Leitung von 1,4 *m* inner- und ausserhalb des Tunnels Rechnung zu tragen.

Die im Tunnel montierte Oberleitung, welche, der fortwährenden Einwirkung koksbrennender Personen-Zuglokomotiven ausgesetzt

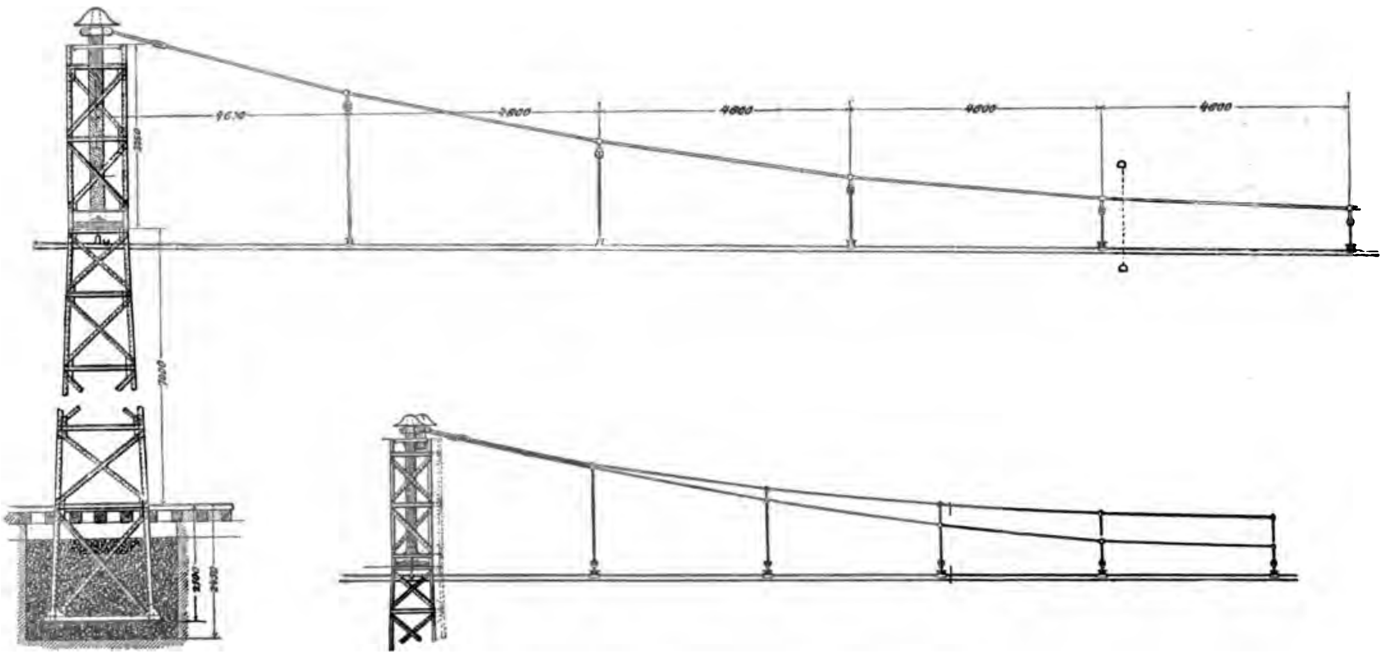


Fig. 186.

und durch Feuchtigkeit des Gewölbes beeinflusst ist, war immer auf die Hälfte ihrer Ausdehnung nass und mit einer schmutzigen, schlüpfrigen Masse bedeckt. Die Folge davon war, dass die durch

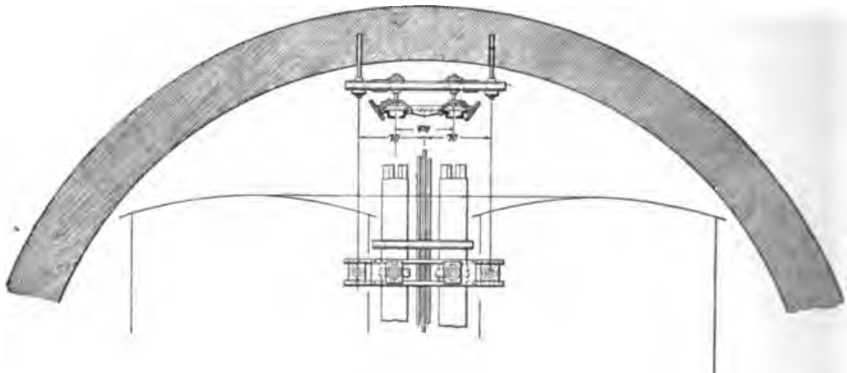


Fig. 187.

den Schlitten erfolgte Stromabnahme erschwert wurde und dadurch Feuern verursachte.

Durch Anwendung von Petroleum und besonderen »Kratzschlitten« wurde dann ein guter Stromschluss zwischen Leitung und Strom-



Fig. 188.

abnehmer erreicht, jedoch wurden der Vorsicht wegen die Lokomotiven mit zwei Stromabnehmern ausgerüstet. Die Behandlung mit Petroleum erfolgt ungefähr alle drei Wochen einmal und genügen dann auch ein oder zwei Fahrten mit dem erwähnten »Kratzschlitten«. Mit diesen Hilfsmitteln wird die Leitung so sauber erhalten, dass

ein vorzüglicher Kontakt erreicht wird, was blanke Stellen und sich stetig verbreiternde Linien deutlich zeigen. Funkenbildung findet nur noch an den nassen Stellen statt.



Fig. 189.

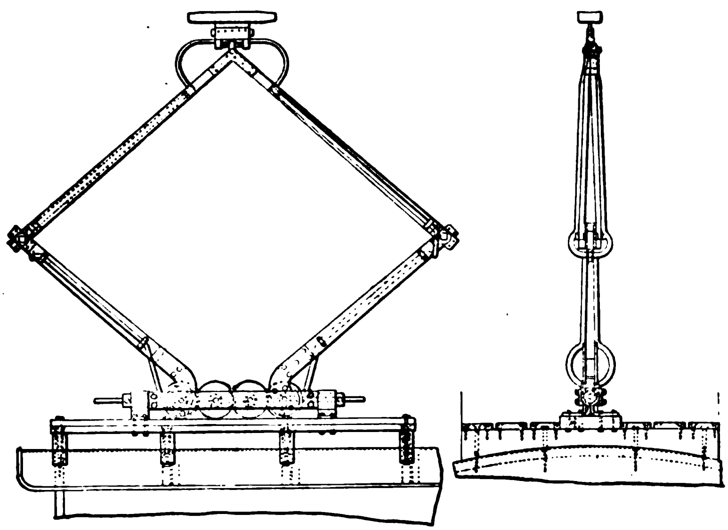


Fig. 190.

Auf der Nantasket-Bahn wurde für die erste Probestrecke ebenfalls die bis dahin allein bewährte oberirdische Stromleitung gewählt und man verwendete dort, um möglichst grosse Berührungs-

flächen für die Stromüberführung zu haben, einen Draht von achtförmigem Querschnitt mit breiter unterer Fläche. Im übrigen bot diese Leitungsanlage den gewöhnlichen Strassenbahnzuführungen gegenüber kein besonderes Interesse.

Eine neue Aufgabe war zu lösen, als man zu Hochspannungsstromzuführungen für Schnellbahnen griff. Die Firma Siemens & Halske, A.-G., hatte zu diesem Zwecke gelegentlich der bereits erwähnten Hochspannungs-Bahnversuche neue Wege eingeschlagen.

Ob indess die Zukunft der Schnellbahnen sich von immerhin zierlichen Konstruktionen, die in der Luft montiert sind, abhängig machen wird, bleibt z. Z. ebenso dahingestellt, wie die wirtschaftliche Frage der Hochspannungsstromzuführung. Hierüber Betrachtungen anzustellen, ist um deswillen unzeitgemäss, weil die Berliner Studiengesellschaft für elektrische Schnellbahnen diesbezügliche Versuche anstellt, über die im Jahre 1902 näheres zu erfahren sein dürfte.

Für die in Rede stehende Oberleitung mussten, mit Rücksicht auf die Lage der Versuchsstrecke an einer öffentlichen Strasse, unterhalb der Leitungen Schutznetze angebracht werden und es konnten daher im Laufe der Versuche nur zwei Systeme von oberirdischen Leitungen probiert werden und zwar:

1. eine solche Anordnung, dass die Stromabnahme durch die Schleifkontakte von oben erfolgen konnte;
2. Stromabnahme durch Seitenschleifkontakte.

Der gewöhnliche Kontakt von unten mit Rolle oder Bügel konnte nicht probiert werden und hätte wohl auch keine von den bereits bekannten wesentlich verschiedene Ergebnisse gezeitigt. Von den üblichen Rollenkontakten wurde ausserdem deshalb Abstand genommen, weil die Gefahr des Entgleisens der Rolle bei grösseren Geschwindigkeiten zu gross ist.

Bei der ersten Anordnung, Schleifkontakt von oben (Fig. 19 und 20, siehe S. 38), bestand die Oberleitung aus drei parallelen 8 *mm* starken Hartkupferdrähten, die durch Bronzeklemmstücke auf 3fachen Glockenisolatoren festgehalten waren und in einer schrägen Ebene lagen. Die Isolatoren waren Porzellanisolatoren, welche bei Prüfung im Wasserbassin $^1/_2$ Stunde lang 15000 Volt gut aushielten und waren auf hölzerne Ausleger aufgeschraubt, die ihrerseits drehbar an den Eisenmasten befestigt waren. Die Drehbarkeit der Arme war gewählt, um die Drähte einzeln gleichmässig abzuspannen und die Abspannung wiederum hat den Zweck, den Durchhang der Fahrdrähte Sommer und Winter konstant zu halten. Sie ist eine selbstthätige und wird in Abständen von je 500 *m* durch eine lose Rolle und einen Flaschenzug mit sechs Rollen bewirkt,

sodass die Oberleitungsdrähte zusammen 1500 *kg* Zug erhalten. Die Drähte sind vor dem Flaschenzug in eine Öse eingehängt, nachdem sie vorher durch die normalen Spannvorrichtungen aus Hartgummi, von denen in jeder Leitung je drei hintereinander sitzen, isoliert sind. Diese Isolation ist derartig gut, dass bei Prüfung in horizontaler Lage unter der Wassertraufe erst bei 21000 Volt Feuererscheinungen auftraten.

Später im Laufe der Versuche wurde die Leitungsanlage umgebaut und nach Angaben Frischmuths für Seitenschleifkontakte eingerichtet. Hierbei (Fig. 21) liegen alle drei Leitungen in einem Abstande von 1 *m* voneinander in einer Vertikalebene; statt der drehbaren Holzarme wurden U-Eisen nach einer Ellipse gekrümmt angebracht. In der Richtung der grossen Achse derselben sind Zugorgane zwischen die Endpunkte der U-Eisen derart eingespannt, dass an ihnen die Isolatorstützen etwas schräg nach aussen stehend befestigt werden konnten. Auf diesen sind vermittelst Hanfseil die kräftigen 3fachen Porzellanglockenisolatoren aufgedreht. Die Leitungen können seitlich etwas ausweichen, sind also in ähnlicher Weise nachgiebig aufgehängt wie bei den bekannten Auslegern für Kontakt von unten. Die seitlich über die Isolatoren ausladenden, metallischen Tragschnäbel der 8 *mm* Kupferdrähte laufen in Metallringen aus, welche mit Druckschrauben und Federringen die Hälse der Isolatoren fest umklammern.

Als Tragmaste für die Oberleitung sind Gittermaste aufgestellt, die ca. 1,9 *m* tief in den Erdboden eingelassen sind. Als Abspannmaste sind stärkere eiserne Gittermaste verwendet, die ebenfalls 1,9 *m* tief in der Erde stehen. Dieselben sind des grossen seitlichen Zuges (von 1500 *kg*) wegen mit 1,5 *cbm* Beton umgossen. Die Abspannmaste sind auch zugleich Tragmaste. Die Entfernung der Masten auf der geraden Strecke beträgt 40 *m*, in den Kurven haben dieselben entsprechend geringeren Abstand. Bei 40 *m* Abstand der Masten betrug der Durchhang rund 150 *mm*. Die Masten wurden, um das Berühren derselben auch bei Kurzschluss mit Hochspannung ungefährlich zu machen, jeder einzeln durch die Schienen sorgfältig geerdet und zwar mit 8 *mm* starker Kupferleitung, die beiderseits verschraubt und verlötet war.

An der Einfahrt zur Kraftstätte muss entsprechend der Schienenweiche unten, eine Oberleitungs-Luftweiche vorhanden sein. Diese ist entsprechend dem Bau des Stromabnehmers in der Art ausgebildet, dass an der betreffenden Stelle die zur Kraftstätte abgehenden Fahrleitungen vollständig unterbrochen und die Speiseleitungen in solcher Höhe über die Strasse geführt werden, dass die Lokomotive mit Stromabnehmer darunter hindurchfahren kann.

Die Schleifstücke der Stromabnehmer, deren Drehung durch Anschläge begrenzt ist, schweben an dieser Stelle vollständig in der Luft, sodass Auflaufstellen für die Arbeitsleitungen geschaffen werden müssen. Zu diesem Zweck waren bei Kontakt von oben je an einem Mast der geraden durchlaufenden Strecke und am ersten Mast der seitlich abgehenden Strecke die Isolatoren so tief gesetzt, dass die Schleifstücke der Stromabnehmer in ihrer tiefsten Lage über die Isolatoren weggingen und erst allmählich auf den wenig ansteigenden Fahrdrähten zum Kontakt kamen. Dieses leichte Ansteigen der Fahrdrähte giebt geringen Stoss beim Auflauf. Die Isolatoren müssen bei Kontakt von oben hier tiefer liegen, wie der tiefste Durchhang der Oberleitung an irgend einer Stelle der geraden Strecke, bei Seitenkontakt von der Gleismitte seitlich genügenden Abstand haben. Bei Seitenkontakt wird die Weiche noch einfacher, weil die Arbeitsleitungen für die gerade Strecke glatt durchlaufen können, und nur der erste in der Weiche selbst stehende Mast soweit zurückgesetzt werden muss, dass die von ihm ausgehenden nach dem nächsten Mast führenden Arbeitsleitungen nicht parallel zur Gleismitte laufen, sondern einen bestimmten Winkel mit der Gleismittellinie bilden. Auf der sanften Neigung laufen die Bügel, die während des Befahrens der Weiche senkrecht zur Fahrtrichtung stehen, auch bei grösserer Geschwindigkeit stosslos auf.

Die Strecke kann an dieser Stelle natürlich nicht mit Strom, sondern nur mit lebendiger Kraft durchfahren werden; die Stellung des Stromabnehmers hierbei ist durch Fig. 22 bis 24 erläutert.

Für die gesamte Strecke waren Schutznetze vorgeschrieben, die verhindern sollten, dass beim etwaigen Bruch einer Leitung diese auf die Erde fällt. Sie bestehen aus vier parallelen 5 *mm* starken verzinkten Stahldrähten, die auf eisernen Auslegern an den Masten befestigt sind. Die Längsdrähte sind in Abständen von 1,5 *m* durch Querdrähte aus 4 *mm* starkem Stahldraht miteinander und durch die Ausleger mit den eisernen Masten leitend verbunden.

Zur Sicherung gegen Blitzgefahr sind endlich noch in die Oberleitung Hörnerblitzableiter, je einer in jeder Phase, induktionsfrei eingeschaltet.

Die Stromabnehmer bestanden zuerst für Kontakt von oben aus kräftigen Aluminiumstücken, die um eine wagerechte Achse drehbar und an einem eisernen Rohre befestigt sind. Die Schleifstücke können in einer zu den Fahrdrähten senkrechten Ebene schwingen und werden durch eine Feder gegen den Draht angepresst. Die Drehpunkte der Schleifstücke sind, um gleich grosse Ausschläge zu geben, entsprechend den drei Fahrdrähten versetzt. Die Bügel sind gleich lang. Zur thunlichst gleichmässigen Abnutzung der

Schleifbügel war die Leitung im Zickzack (200 *mm*) verlegt, und zur Verminderung starker Funkenbildung bei grösserer Geschwindigkeit und namentlich um die nachfolgenden Messungen sicher ausführen zu können, waren je zwei Stromabnehmer an die Lokomotive angesetzt.

Bei dem zweiten System der Seitenschleifkontakte (Fig. 24) liegen die Drehpunkte der Kontaktbügel, die zum Zwecke des Kontaktgebens um eine senkrechte Achse schwingen, alle in gleicher Höhe, daher sind die Bügel verschieden lang und stehen verschieden steil. Sie drehen sich zum Zwecke des Unterfahrens von Überführungen u. s. w. ausserdem um eine wagerechte Achse. Alle drei Bügel lassen sich gleichzeitig von den Leitungen vom Führerstande aus mittels Schneckenvorgelege abdrehen. Alle drei senkrechten Bügeldrehachsen sind von den wagerechten Drehachsen der Bügel durch kräftige Hartgummiisolatoren isoliert. Alles weitere ist aus der Fig. 8 ersichtlich. An den Weichen werden die Leitungen unterbrochen, die Bügel stellen sich senkrecht zur Fahrtrichtung, laufen dann bei Beginn der Weichenleitung sanft wieder auf. Arbeitsleitungen und Stromabnehmer hielten bis 30000 Volt aus.

2. Niveauleitungen.

Bei der Erweiterung der Nantasket-Bahn ging man bereits dazu über, eine dritte Stromzuführungsschiene zwischen die beiden Gleise zu verlegen, und ist diese Art der Stromleitung unter dem Namen Dreischienen-System bekannt geworden. Die in der Mitte zwischen den Gleisen und wenige Centimeter über Schienenoberkante liegende dritte Schiene ist durch Kupferdraht miteinander verbunden, und ähnelt die gesamte Anordnung nachstehend beschriebenem System. Die dritte Schiene ist nicht an den Schwellen innerhalb des Gleises befestigt, sondern auf Holzblöcke gelegt, welche neben den äusseren Schienen laufen. Die beiden Fahrschienen werden zur Leitung ausgenutzt.

Obgleich die dritte Schiene, welche den elektrischen Strom führt, frei liegt, kann doch ein Kurzschluss nur dann erfolgen, wenn diese dritte und eine der beiden Fahrschienen gleichzeitig berührt werden. Da aber die Gesellschaft sämtliche Stationen eingefriedigt und bei allen Übergängen Warnungssignale angebracht hat, in welchen vor der mit der Berührung der Gleise verbundenen Gefahr gewarnt wird. kann eine gleichzeitige Berührung kaum stattfinden.

Man hatte, ehe man diese Art der Stromleitung anwendete, vielfache Erwägungen und Berechnungen angestellt und fand schliesslich, dass man mittels schweren Profilen den elektrischen Strom für Bahnanlagen ohne erhebliche Kraftverluste weiterführen konnte, und

dies mit einem Fünftel der Baukosten gegenüber der Kupferleitung. Von dieser Leitungsschiene nimmt ein flacher gusseiserner Schuh von 30 · 10 *cm* Flächenausdehnung, im Gewicht von 10 *kg* den Strom ab, indem derselbe auf der Stromleitungsschiene schleift. Von diesem Gleitschuh wird mittels eines Kupferseiles der Strom dem Wagen bezw. dem Motor zugeführt.

Zeitlich folgte dieser Anlage die Stromzuführung der Intra-mural-Railway der Chicagoer Weltausstellung vom Jahre 1893. Der auf dieser Bahn angewandte Stromabnehmer, welcher auf einer ebenfalls neben den Gleisen liegenden Stromleitungsschiene schleift, ist in Fig. 191 und 192 in beiden Ansichten dargestellt. Die ersichtliche Spiralfeder gleicht die Niveaudifferenzen zwischen Fahrschiene und Leitungsschiene aus und übt den für die Berührung und gute Stromleitung auf die Fahrschiene erforderlichen Druck aus. Dieser Kontaktschuh ist an einem aus dem Untergestell hervorragenden starken Holzbrett befestigt, welches mit einem Regendach geschützt ist, damit Tropfwasser einen schädlichen Stromübergang nicht begünstigen kann.

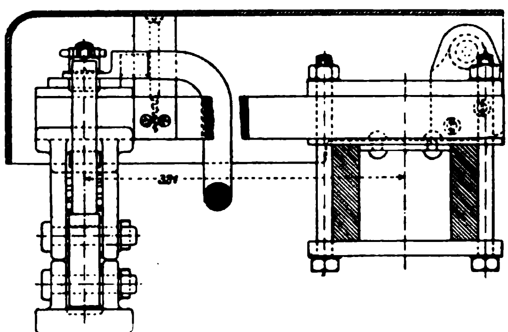


Fig. 191.

Der Unterbau bestand aus in Jochform zusammengefügten, mächtigen Holzpfosten, auf welchen vier eiserne I-Träger ruhten. Diese bildeten die Unterlage für hölzerne Querschwellen, auf denen die Gleise befestigt waren. Da die ganze Anlage nur während der Dauer der Ausstellung benutzt werden sollte, so war man darauf bedacht, möglichst nur solches Material zu verwenden, das nachher ohne weiteres wieder für andere Zwecke benutzbar war. Aus diesem Grunde hat man für die Herstellung der Fahrleitung und

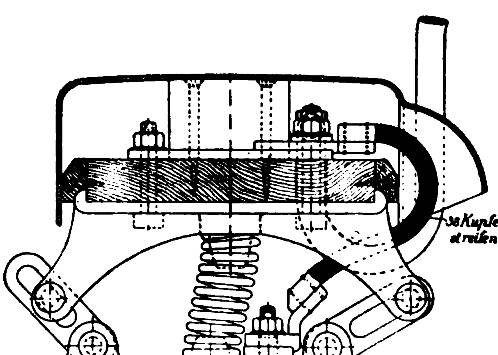


Fig. 192.

Speiseleitung keine Kupferdrähte, sondern genau die gleichen Schienen, wie für das Gleis verwendet; dieselben lagen etwas überhöht auf isolierenden, sorgfältig imprägnierten Holzlangschwellen und waren an den Stössen leitend verbunden. Dementsprechend ist der Kontaktapparat ausgebildet. Die Gleise und auch die weiter oben erwähnten eisernen I-Träger werden zur Stromleitung ausgenutzt.

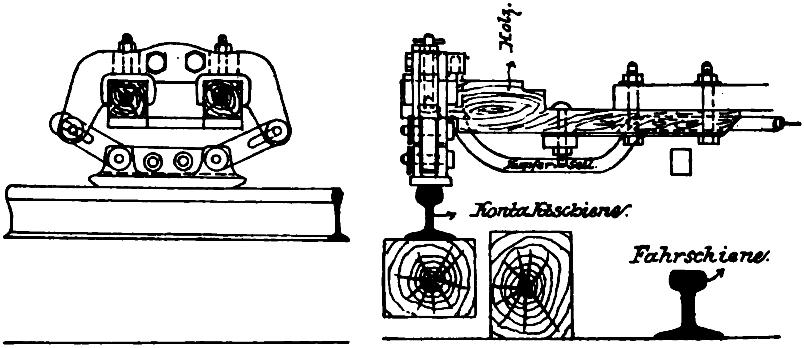


Fig. 193.

Eine weitere Anwendung des gleichen Stromleitungs- und Stromzuführungssystems finden wir alsdann bei der *Metropolitan Chicagoer Hochbahn* wieder.

Die elektrische Stromleitung (Fig. 193) erfolgt hier wiederum durch eine an einer Seite jedes Gleises angeordnete *dritte*

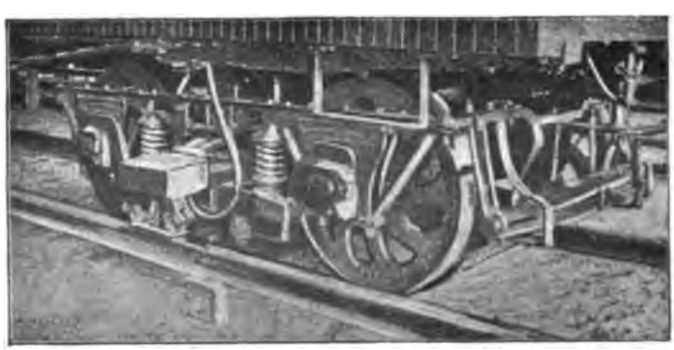


Fig. 194.

Schiene von 22 *kg/m* Gewicht, welche 178 *mm* über Fahrschienen-Oberkante liegt und auf mit Paraffin getränkten Holzklötzen von 15 *cm* Quadratseite lagert. Die den Schleifkontakt bildenden Hartgussschuhe sind an den vier Ecken eines jeden Antriebwagens angeordnet, wie dies Fig. 194 zeigt.

Die Kontaktschuhe waren an hölzernen Querbalken befestigt, welche beiderseits aus dem Untergestell etwas herausragen. Jeder Kontaktschuh hing lose mittels zweier an einem Ende geschlitzter Gelenkglieder an einem Bügel. Durch einen biegsamen Kupferdraht erfolgte die elektrische Verbindung mit der Mitte des Schuhes. Die Aufhängung war derart, dass der Kontaktschuh für gewöhnlich fest auf der Kontaktschiene auflag, dagegen bei Unregelmässigkeiten und Unebenheiten auf der Schiene in die Höhe gedrückt und von der Schiene abgehoben wurde.

An den Weichen war die dritte Schiene nach der Seite der Abzweigung hin fortgelassen und durch eine an der anderen Seite angeordnete Schiene ersetzt, sodass an dieser Stelle der auf der anderen Seite des Wagens liegende Gleitschuh den Kontakt herstellte. Beim An- und Ablauf der Kontaktschienen war die Spitze derselben nach unten gebogen. Die Verbindung der Kontaktschienen erfolgte durch leichte Laschen und breite elastische Kupferstreifen von 4,7 *mm* Dicke und Schienenfussbreite. Die Zuleitung ist in Abschnitte zerlegt, deren jeder auf dem Schaltbrett der Kraftstation ausgeschaltet und kontrolliert werden kann. Vergl. auch Z. d. V. D. Ing. 1896, Heft 28, S. 775 ff., und desgl. 1897, Heft 48, S. 1370.

Die Anordnung der für die New-Yorker Hochbahn zur Anwendung gelangten Stromzuführung erfolgt auch durch die dritte Schiene. Diese Schiene ist ebenfalls auf eine Seite des Gleises so gelegt worden, dass der Kopf höher steht, als die Fahrschienen, damit die am Untergestell befestigten Kontaktschuhe an den Weichen frei geführt werden können, ohne Kurzschluss mit den anderspoligen Fahrschienen hervorzurufen.

Die Anordnung der Kontaktschuhe am Wagen ist hier wieder so, dass, wenn bei Kreuzungen der vordere Kontaktschuh die stromführende Schiene verlassen hat, der hintere noch so lange aufliegt, bis dieser die stellenweise unterbrochene Leitungsschiene wieder gefasst hat, d. h. die für die Kreuzung nötige Unterbrechung der Kontaktschiene darf nicht länger sein, als die Entfernung zwischen dem ersten und letzten Kontaktschuh eines Wagens bezw. Zuges.

Auf der Pennsylvania-Bahn ist nach Fig. 195 die Anordnung zwischen Stromleiter und Stromabnehmer umgekehrt dem bisher beschriebenen System angeordnet. Hieraus entsteht eine sogenannte Geländer-Stromzuführung. Die Stromleitungsschienen liegen höher und werden von oben durch einen Isolator gefasst, sodass für die Berührung die untere Schienenkante frei liegt und durch den entsprechend ähnlichen Stromabnehmer von unten berührt wird. Die Leitungsschienen haben eine untere Breite von rund 12 *cm* und ein Gewicht von 50 *kg/m*. Der Kontaktschuh

aus Bronze besitzt eine **Berührungsfläche** von etwa 1 *qcm* für 1 Ampère. Zwei solcher Schuhe sind an jedem Wagen bezw. je einer an jedem Drehgestell. An Kreuzungen und Weichen ist die Stromleitungsschiene ganz fortgelassen und durch eine isolierte Kabelleitung ersetzt. Die Stromzuführung zum Wagen wird indess durch diese unterbrochenen Leitungsstellen nicht beeinflusst, da der vordere Kontakt bereits angreift, wenn der hintere die Schiene verlässt.

Bei der Berliner **Wannsee-Bahn** ist die Stromleitung in Gestalt eines fortlaufenden Schienenstranges neben jedem Gleis

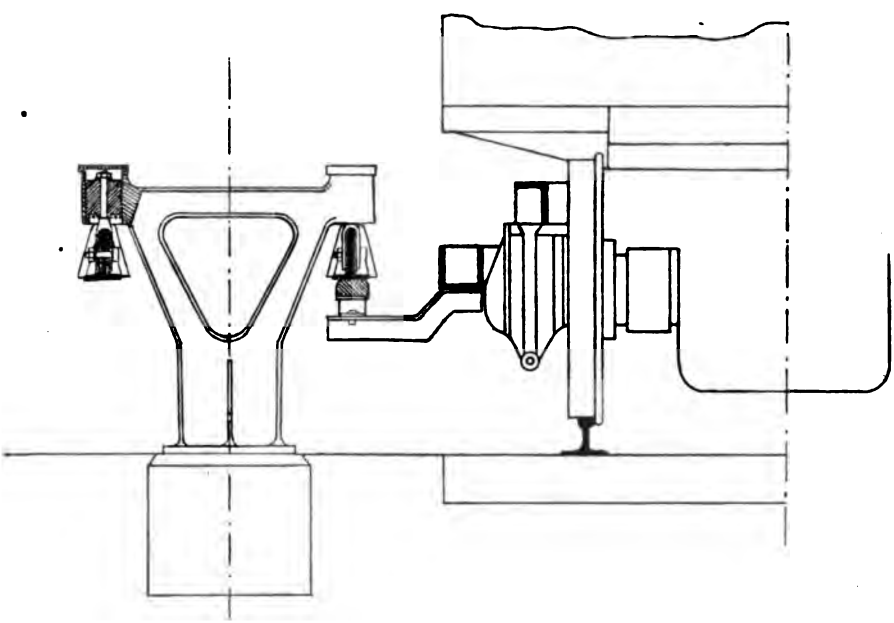


Fig. 195

geführt, der 1570 *mm* von der Gleismitte entfernt ist und 320 *mm* über Fahrschienenoberkante liegt.

Die konstruktive Ausführung der Streckenleitung zeigen die Fig. 196 bis 199. Die Leitungsschienen, aus alten Fahrschienen von 115 *mm* Höhe bestehend, sind zwischen den beiden Gleisen auf Isolatoren mit dem Kopf nach oben verlegt; die Isolation der letzteren besteht aus einer starken Umpressung von Hartgummi. Die Leitung wurde zwischen den Gleisen angeordnet, damit die Bahnarbeiter beim Herannahen eines Zuges schnell beiseite treten können, ohne die Leitung übersteigen zu müssen. Der Längenabstand der Isolatoren

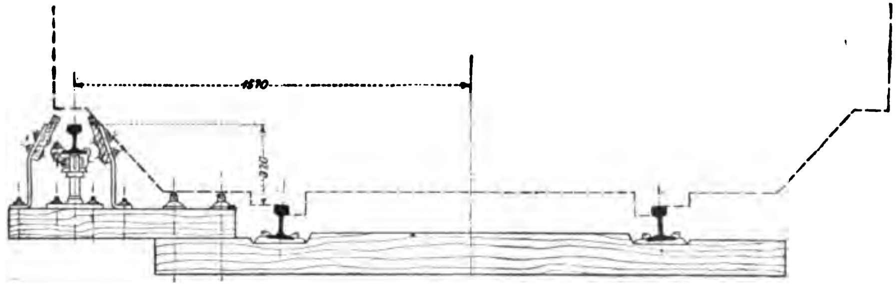


Fig. 196. Leitungsanlage für eingleisige Strecke.

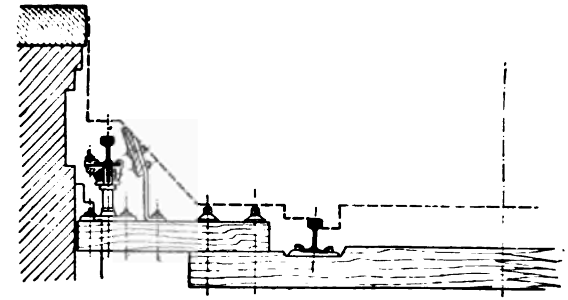


Fig. 197. Leitungsanlage auf Bahnhöfen.

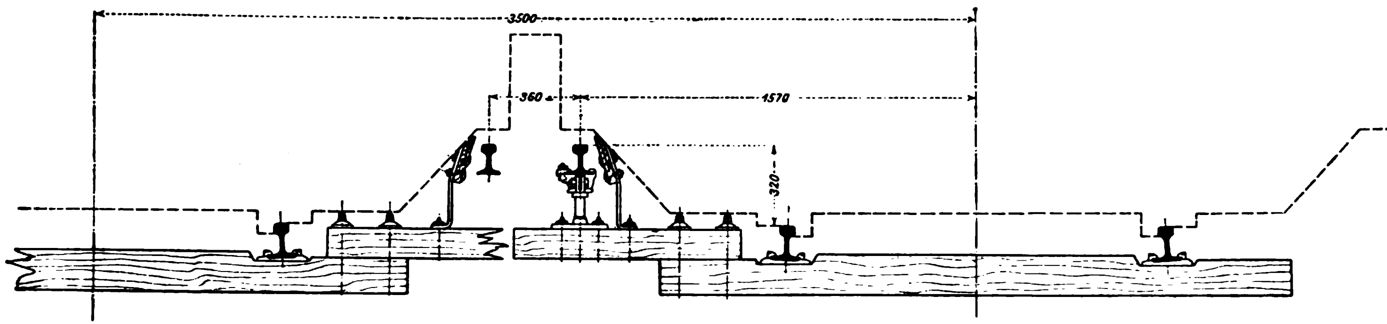


Fig. 198. Leitungsanlage für zweigleisige Strecke mit äusseren Schutzbrettern.

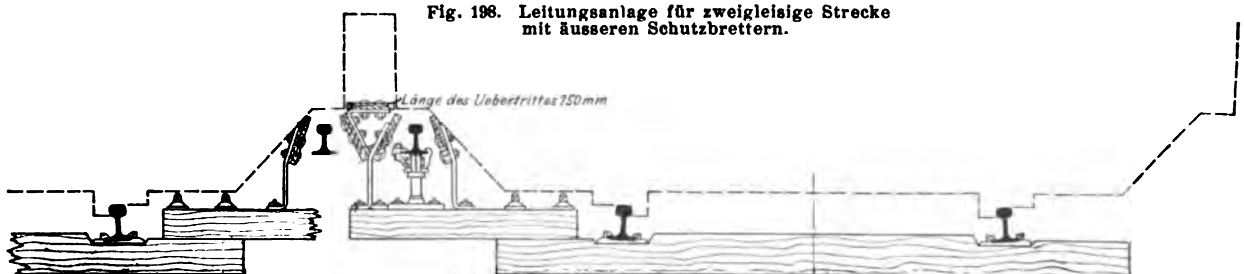


Fig. 199. Leitungsanlage für zweigleisige Strecke mit doppelten Schutzbrettern und Uebersteigtritten.

(Fig. 200, 201, 202) beträgt 4,5 *m*; sie sind auf Sattelhölzern befestigt, die ihrerseits mit den Gleisschwellen verschraubt werden, sodass eine genaue Lage der Stromschiene gegenüber den Fahrschienen gewährleistet ist. Die Leitungsschienen der beiden Gleise stehen natürlich in keinem konstruktiven Zusammenhange, da auf

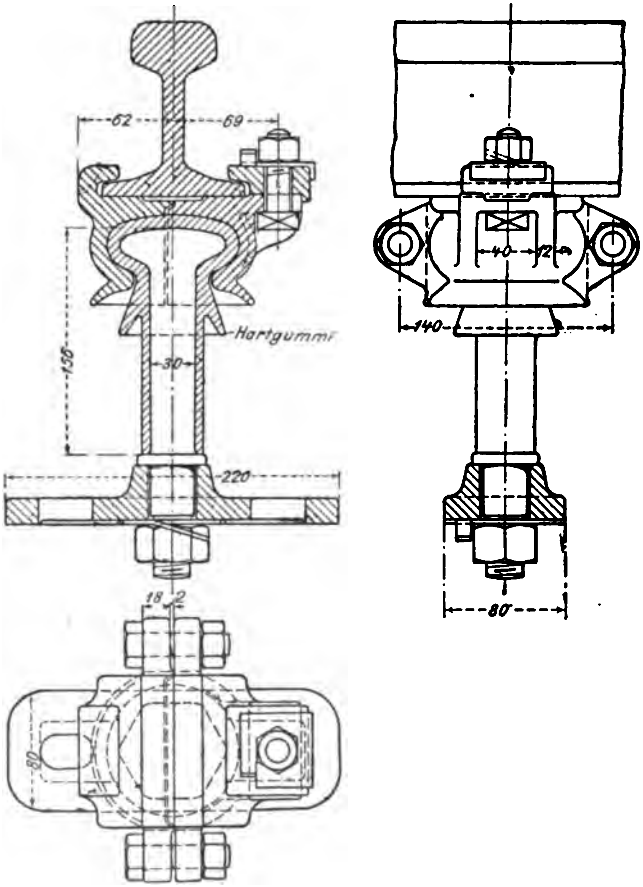


Fig. 200 bis 202.

die gegenseitige Verschiebung durch Bewegung der Gleise Bedacht genommen werden musste. Durch die Anordnung der Stromleiter ist hinreichend grosse Sicherheit gegen zufällige gleichzeitige Berührung der Plus- und Minusseite erreicht. Auf Veranlassung der Eisenbahnverwaltung wurde die Leitung zur Verhütung unvorsichtiger Berührung seitlich durch Bretter verkleidet, die mittels schmiede-

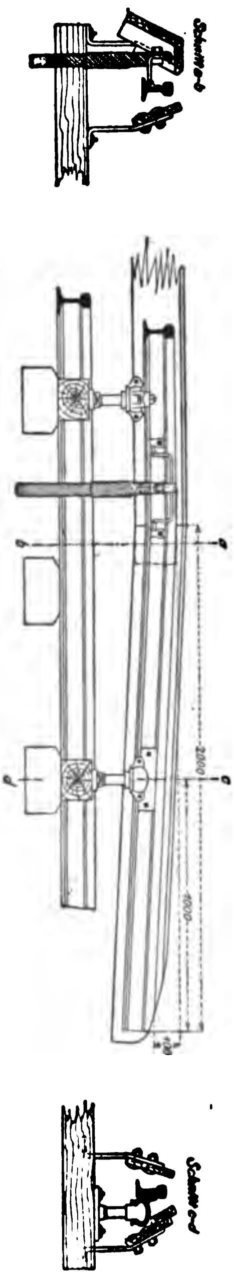


Fig. 203 bis 205.

eiserner Stützen auf den Sattelhölzern befestigt sind. Übersteigtritte in Abständen von 100 *m* (Fig. 199) dienen zum bequemen Überschreiten der Leitungsanlage.

An Weichen und Kreuzungen müssen die Leitungsschienen auf kurze Strecken unterbrochen werden. Der Strom wird an diesen Stellen durch eingegrabene isolierte Kabel geleitet. Die Endschienen sind zum Zwecke leichten Auflaufens der Stromabnehmer mit 1:20 Neigung verlegt (vergl. Fig. 203, 204, 205); das Auflaufen erfolgt ohne jeden Stoss. Auch an mehreren Brücken musste wegen zu geringer zur Verfügung stehender Konstruktionshöhe die Kontaktleitung unterbrochen und durch Kabel oder besonders verlegte Schienen ersetzt werden. Ein Beispiel hierfür bieten die Fig. 206, 207, 208. Die Stromabnehmer schleifen hier über kräftige Holzbalken, die in entsprechender Höhe auf den Brücken befestigt sind, während die Stromschiene mehr seitwärts und höher gelegt ist. Da diese Balken nur im Augenblicke des Hinübergleitens der Stromabnehmer unter Spannung stehen, so braucht auf eine hohe Isolation kein besonderer Wert gelegt zu werden. Die Prüfung unter 750 Volt Spannung ergab als kleinsten Isolationswiderstand eines Brückenbelages 5800 Ohm bei sehr starker Nässe.

Die Stösse der Leitungsschienen sind ausser durch gewöhnliche Schienenlaschen durch zwei Kupferseile von 300 *qmm* Gesamtquerschnitt überbrückt, die mittels Kupferstöpsels und Stahldornes in der bei Strassenbahngleisen üblichen Weise in den Schienenstegen kontaktsicher befestigt sind. Ausser dieser normalen Verbindung ist noch eine zweite zur Ausführung gekommen. Sie besteht aus Flachkupfer von 100 · 3 *mm* Querschnitt, das am Fusse jedes Schienenendes angenietet und angelötet ist. Die Kupferstücke der zusammenstossenden Schienenenden werden nach der Verlegung der Leitung miteinander verlötet und geben so einen vorzüglichen Kontakt.

Erhebliche Schwierigkeiten verursachten die elektrischen Stossverbindungen der Fahrschienen, die für die Rückleitung des Stromes dienen. Nachdem anfänglich die anderwärts, z. B. auf der Kleinbahn Düsseldorf-Crefeld, gut bewährten Verbindungen aus Kupferdraht von 8 *mm*. Durchmesser mit Stahlstöpseln ausgeführt waren, traten infolge der unruhigen Lage der Schienenstösse beim Befahren durch die schweren Dampflokomotiven so zahlreiche Brüche auf, dass eine Auswechselung gegen lange Verbindungen aus Kupferlitzen vorgenommen werden musste. Diese letzteren gestatten auch infolge ihrer grossen Länge und Beweglichkeit eine bequemere Unterhaltung und Auswechselung der Stosslaschen. Die Kosten überschreiten natürlich bei weitem die der zuerst verwendeten Drähte. Die Querverbindung der vier Schienenstränge untereinander, die etwa alle 100 *m* vorhanden ist, besteht jedoch auch weiterhin aus 8 *mm* starkem Draht, ohne dass Brüche aufgetreten wären.

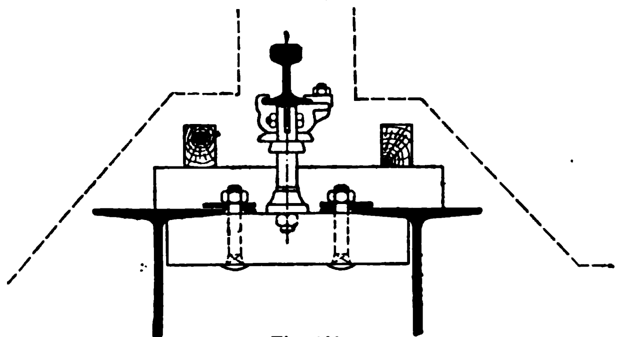


Fig. 206.

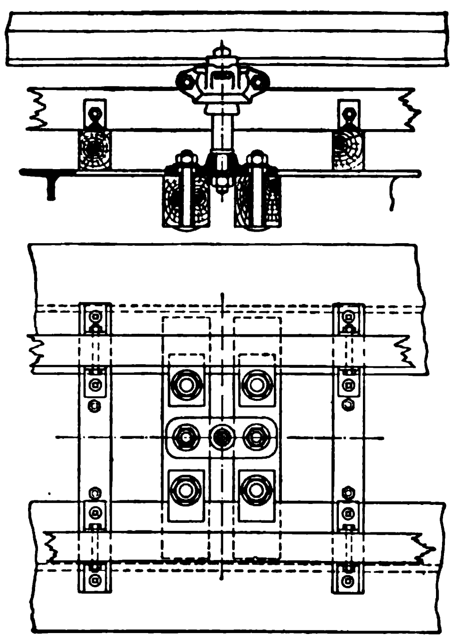


Fig. 207 bis 208.

Der Strom wird den Leitungsschienen durch eine Anzahl Gleitschuhe entnommen, die auf dem Schienenkopfe schleifen. In anbetracht der hohen Stromstärken musste eine möglichst grosse Zahl von Kontaktstellen ausgeführt werden. Anfänglich wurden vier, später alle sechs Motorwagenachsen mit Stromabnehmern versehen, und zwar auf beiden Seiten, da die Leitungsschienen in der Regel

zwischen den Gleisen liegen, während sie sich an Weichen und Kreuzungen bald auf der einen, bald auf der anderen Seite befinden, um die stromlosen Stellen nach Möglichkeit kurz zu halten. Die Stromabnehmer sind unmittelbar an den Achsbuchsen unter Vermittelung mit Leinöl getränkter kräftiger Holzbalken befestigt; sie nehmen somit an der Federung des Wagenkastens nicht teil. Von den Abnehmern wird der Strom durch stark isolierte biegsame Seile nach den Wagenapparaten geführt. Die Konstruktion der Abnehmer schliesst sich im wesentlichen der amerikanischen Bauart an; sie unterscheidet sich davon nur durch die Einfügung einer kräftigen Blattfeder, die den eigentlichen Gleitschuh nach unten anpresst

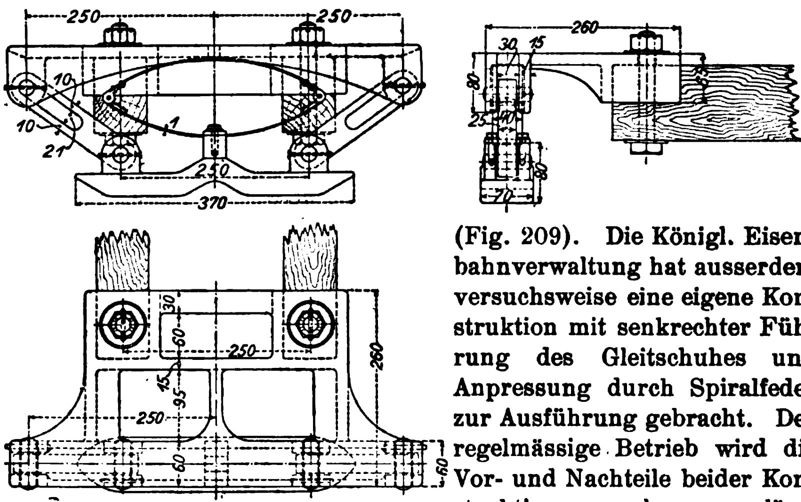


Fig. 209.

(Fig. 209). Die Königl. Eisenbahnverwaltung hat ausserdem versuchsweise eine eigene Konstruktion mit senkrechter Führung des Gleitschuhes und Anpressung durch Spiralfeder zur Ausführung gebracht. Der regelmässige Betrieb wird die Vor- und Nachteile beider Konstruktionen erweisen; ganz lässt sich selbstverständlich das Feuern bei der Abnahme der hohen Stromstärken und einer Geschwindigkeit bis 50 *km* nicht vermeiden.

Bei der Pariser Metropolitan-Bahn und bei der Orléans-Bahn ist die Stromleitung ähnlich der der Wannsee-Bahn ausgeführt worden.

Obgleich diese Anlagen den an sie gestellten Bedürfnissen entsprechen, dürfen dieselben nicht als im allgemeinen massgebend betrachtet werden, da sie nur für bestimmte Bahnen und Betriebsverhältnisse gelten können. Die Stromleitung der Pennsylvania-Bahn und die der Wannsee-Bahn lässt sich z. B. nicht verwenden, wenn Rangierbahnhöfe mit elektrischem Betrieb versehen werden sollen. Man denke hierbei an den Verkehr des Bahnpersonals zwischen den Gleisen. Dieselben hätten alsdann nicht allein die

Schienen zu überschreiten, sondern auch ein Geländer, das zum allermindesten höhere körperliche Beanspruchung für den Mann erfordert, zu überklettern. Es scheint daher richtiger, die Stromleitungen nicht viel über das Niveau der Fahrschienen zu erheben. Nach diesem Grundsatz hat man bei den folgenden Bahnen gehandelt.

Bei der Liverpooler Hochbahn und bei der Londoner Untergrundbahn ist man von der seitlichen Anordnung der Kontaktschienen abgegangen, und erfolgt die Zuführung des Stromes zu den Wagenmotoren von dieser mitten im Gleis liegenden ⊓-förmigen stählernen Schiene von 25,8 *qcm* Querschnitt, deren Oberkante 22 *mm* über der Oberkante der Fahrschienen liegt. Sie wiegt 20 *kg/m* und ist in Fig. 210 dargestellt.

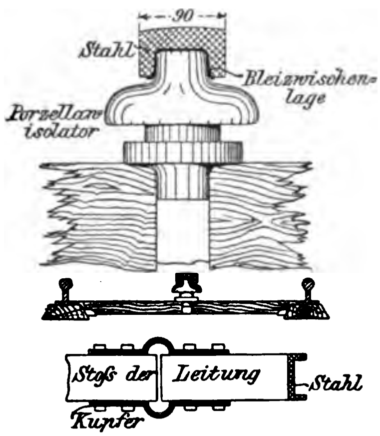


Fig. 210.

Die Hauptleitungsschiene, welche mit den Isolatoren in keiner Weise starr verbunden ist, wird von letzteren alle 2,3 *m* unterstützt; an den Stossstellen liegen die isolierenden Stützen jedoch nur 0,76 *m* voneinander entfernt. An diesen Stellen ist die elektrische Verbindung durch biegsame Kupferlaschen hergestellt. Die hölzernen Langschwellen bewirken die Isolierung der Fahrschienen von dem Unterbau. An den Stationen sind die letzteren leitend miteinander verbunden. Die Fahrschienen wiegen 27,75 *kg/m*, bieten dem Strom also ungefähr 141,9 *qcm* Fläche dar. Auf jeder Station ist eine einfache Weichenverbindung eingelegt, in der die Haupleitungsschiene im durchgehenden Streckengleise durch die eine der abzweigenden Weichenschienen und in der Abzweigung durch die eine Schiene des Hauptgleises unterbrochen ist. Man hat an diesen beiden Durchbrechungsstellen die Leitungsschiene nach dem stumpfen Winkel schwach hakenförmig umgebogen. Die hakenförmigen Enden folgen den Hauptschienen an jeder Seite des Kopfes auf einer kurzen Strecke in paralleler Richtung und sind unterhalb der Schiene in elektrische Verbindung gebracht. An dem Drehgestell des Wagens, welches die Elektromotoren trägt, hängt ein gusseiserner Gleitschuh, welcher den elektrischen Strom von der Hauptleitungsschiene abnimmt, wie dies Fig. 211 zeigt. Er besteht aus zwei klappenartig herunterhängenden Teilen, welche um einen senkrecht zur Bahnachse gerichteten Bolzen drehbar sind und auf der oberen Fläche der ⊓-förmigen Leitungsschiene gleiten. Der Gleitschuh ist so breit, (siehe Fig. 212), dass

er, wenn er sich über einer Stelle befindet, wo die Leitungsschiene unterbrochen ist, auf den beiden umgebogenen Enden dieser Schiene wie eine Brücke ruht, ohne die Fahrschiene zu berühren. Auch

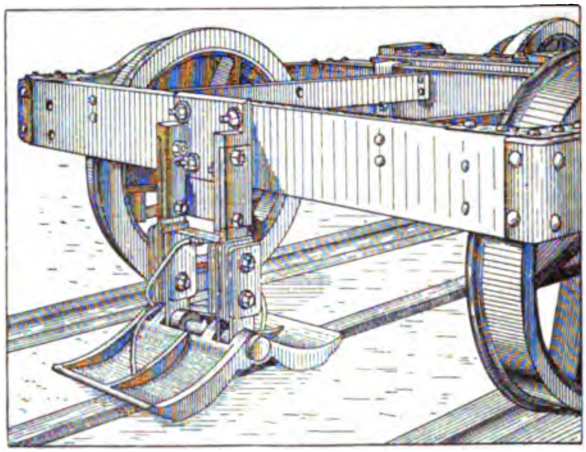


Fig. 211.

werden auf diese Weise Stösse der Schuhe gegen die Enden der Leitungsschienen vermieden.

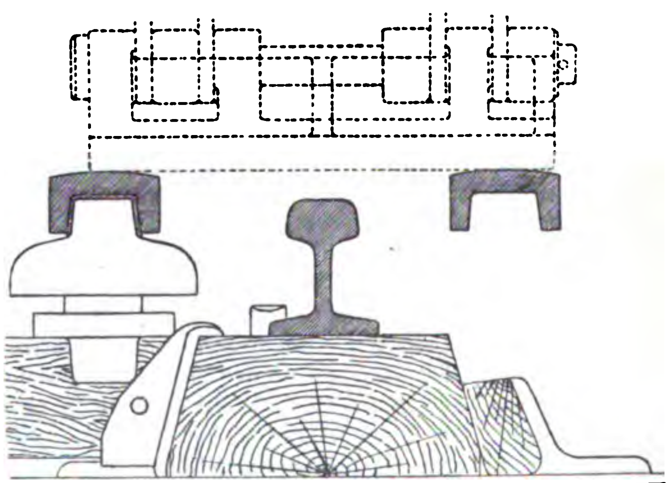


Fig. 212.

Die gleiche Anordnung ist bei der Londoner Untergrundbahn angewandt worden, und sind aus der Fig. 213 die Details der dritten Schiene und ihre Befestigung zu ersehen. Die dritte



Schiene ist aus Stahl und wiegt rund 40 *kg* für 1 *m*. Sie ist mit rillenförmigem Querschnitt gewalzt und wird von einem mit Kreosot getränkten Holzisolator getragen, wie dies die Figur zeigt. An den Verbindungen werden keine Stosslaschen angewendet. Jeder Stoss wird durch zwei kurze, biegsame Schienenverbinder, Modell Chicago, elektrisch überbrückt. Die dritte Schiene wird rund 40 *mm* höher als die Laufschienen gelegt, um bei Kreuzungen Störungen zu vermeiden.

Die geschilderten Gleitkontakte sind aus dem Bestreben heraus entstanden, grosse Stromstärken funkenlos zu übertragen. Wenn es sich indess darum handelt, Bahnen mit hoher Geschwindigkeit mittels direkter Stromzuführung zu versehen, wobei ebenfalls grosse Stromstärken zu übertragen sind, so muss man den Schleifkontakt

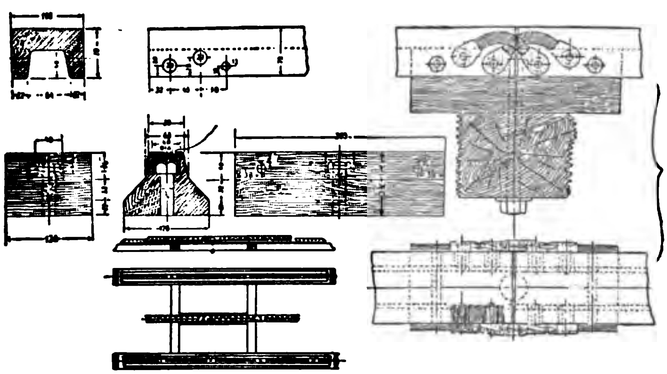


FIG. 13. 3 SCHIENE, ISOLATOR UND VERBINDER.

Fig. 213.

wieder verlassen, weil infolge der vermehrten Reibungsarbeit ein Heisswerden der Berührungsfläche des Kontaktschuhes zu befürchten steht. Hier muss entschieden wieder man auf den Rollkontakt zurückgreifen, und diese Betrachtung führte zu der Konstruktion des in Fig. 214 dargestellten Stromabnehmers. Hier ist die Stromleitungsschiene ebenfalls zwischen die Schienen gelegt, und zum Zwecke möglichst geringer Stromübergänge in Abschnitte eingeteilt, die nur immer dann vom Betriebsstrom durchflossen sein dürfen, wenn der Wagen über ihnen steht, oder sich in deren unmittelbaren Nähe befindet. Da anderseits der Rollkontakt eine geringere Berührungsfläche besitzt, die zwar spezifisch mit höherer Stromstärke belastet werden kann, weil sie sich fortwährend ändert und der Abkühlung unterworfen ist, und weil ausserdem neben der Stromarbeit nur wenig Reibungsarbeit auftritt, müssen mehrere Kontakte angeordnet sein und ist gedacht, dass jede nicht von Motoren be-

anspruchte Achse mit einem derartigen Rollkontakt versehen wird. Das Wesentliche der hier geschilderten Konstruktion, besteht darin, dass das Stromabnehmerrad befähigt sein muss, die Niveaudifferenzen zwischen Fahrschiene und Leitungsschiene auszugleichen, dass es ferner von der Wagenachse direkt seitlich geführt werden und schliesslich jederzeit genügenden Druck auf die Kontaktschiene ausüben muss. Anderseits darf die vertikale Nachgiebigkeit bezw. Elastizität dieses Rades nicht so gross sein, dass beim Überfahren anderspoliger Leitungen und Fahrschienen ein Kurzschluss entstehen könnte. Die Höhendifferenzen zwischen Fahrschiene und Leitungsschiene dürfen nach den Normalien der Hauptbahnen in keinem Fall 10 *cm* überschreiten, welches Mass z. B. bei Anwendung von Drehstrom, wobei ausser den Fahrschienen zwei Leitungen unterzubringen sind, noch halbiert werden muss. Selbstverständlich ist hierbei auch, dass die Bandage von der Nabe isoliert sein muss, und dass der von der Bandage aufgenommene Strom durch Schleifring dem Motorkabel zugeführt wird. Beim Überfahren von Weichen und Kreuzungen bleibt das Rad in entsprechender Entfernung von anderspoligen Leitungen und kann vermöge der balligen Bandagenform seine entsprechende Leitungsschiene leicht und stossfrei verlassen und wieder erreichen. Es ist hierbei darauf zu achten, dass die Elastizität oder die Excentrizität des Rades stets kleiner ist, als die Niveaudifferenz zwischen den anderspoligen Leitungsschienen. Die beim Abrollen des Laufrades und des Stromabnehmerrades entstehenden Differenzen der Winkelgeschwindigkeiten beider Räder bei naturgemäss gleicher Umfangsgeschwindigkeit wird dadurch ausgeglichen, dass die Stromabnehmerräder sich lose auf den Achsen drehen.

Nachdem die üblichen und vielleicht in Zukunft hauptsächlich in Betracht kommenden Stromleitungs- und Kontakteinrichtungen beschrieben sind, erübrigt es noch, kurz zu erwähnen, warum die bei Strassenbahnen üblichen oberirdischen Stromleitungen auf Vollbahnen nicht übertragbar sind. Die Unterhaltung oberirdischer Fahrdrahtnetze ist unmöglich, wenn es sich um Bahnen mit häufiger Zugfolge auf eigenem Bahnkörper handelt, und wenn auf diesen Bahnen Tag- und Nachtbetrieb durchgeführt wird, wie dies bei allen Fernbahnen der Fall sein wird. Die Unterhaltung der Stromleitung, welche sich immer nur durch Gerüstwagen bewerkstelligen lässt, ist hier durch die Lage der Schienen erschwert, oder unmöglich gemacht. Der Revisionswagen müsste mit Spurrädern versehen sein und könnte nur zwischen zwei Stationen in den Zugintervallen verkehren. Ein Ausschwenken des Montagewagens, wie dies auf der Strasse möglich ist, kann hier nicht in Betracht kommen. Es sind also die Niveau-

Stromzuführungen die einzigen Stromleitungen, welche neben dem Akkumulatorenbetrieb für Hauptbahnen in Betracht kommen können.

Die seitlich des Gleises vorgeschlagenen Stromleitungen unterliegen auf eigenem Bahnkörper den gleichen Schwierigkeiten, wie die über dem Gleis liegenden.

Nicht als letzter Umstand ist zu beachten, dass bei sehr hohen Geschwindigkeiten die Oberleitung mit einer peinlichen Genauigkeit ausgeführt werden muss. Diese dürfte aber bei oberirdischen Leitungen nicht in dem erforderlichen Masse erreichbar sein.

IX.

Betriebsmittel-Beleuchtung.

Das stets wachsende Verkehrsbedürfnis und das daraus entspringende Verlangen, auch auf Reisen die gewohnte Bequemlichkeit nicht ganz entbehren zu müssen, hat auf eine immer bessere Beleuchtung der Züge der Voll- und Kleinbahnen und der Strassenbahnwagen gedrängt.

Im Jahre 1836 wurde die erste Beleuchtung des Wageninnern auf der Strecke Leipzig—Dresden durch Kerzen eingeführt, was damals als ein bedeutender Fortschritt angesehen wurde. Später ging man zur Beleuchtung durch Petroleum und durch Gas über, und es gebührt Deutschland der Ruhm, in der Entwickelung der Zugbeleuchtung, besonders durch Ölgas, bahnbrechend gewesen zu sein.

In neuester Zeit ist neben der Acetylenbeleuchtung auch die elektrische Zugbeleuchtung bei Dampfbahnen in ein derartiges Stadium getreten, dass diese letztere als ernstlicher Rivale, selbst der Gasbeleuchtung, auftreten kann.

Die ersten Versuche elektrischer Zugbeleuchtung mit dem Faure-Akkumulator wurden, wie Dr. Büttner berichtet, schon im Jahre 1881 auf der London—Brighton-Railway durch Beleuchtung einzelner Wagen und auch von einigen anderen englischen Bahnen angestellt. Der Erfolg konnte, dem damaligen Stande der Akkumulatorentechnik entsprechend, nur ein ungünstiger sein. Angesichts der grossen Vorteile jedoch, welche die elektrische Beleuchtung gegenüber allen anderen Systemen bietet, versuchte man in England auf anderem Wege eine solche zu erreichen.

Hauptsächlich bewegten sich diese Versuche in der Richtung, dass die Bewegung des Zuges zur Lichterzeugung selbst nutzbar gemacht wurde, indem man eine Dynamomaschine in einem Gepäckwagen des Zuges von der Wagenachse antreiben liess. Natürlich waren auch hier Akkumulatoren, wenn auch in geringerem Umfange auf jeden Fall nötig, um während des Stillstandes des Zuges oder bei langsamer Fahrt desselben Beleuchtung zu haben.

Es entstanden nacheinander die Systeme der Great-Northern-Railway, der Midland-Railway, der London—Brighton- und South-Coast-Railway und einiger anderer englischer Bahnen. Noch jetzt hat die London—Brighton-Railway im ganzen 410 Wagen, die Great-Northern-Railway 100 Wagen elektrisch beleuchtet. Es ist jedoch ziemlich feststehend, dass eine weitere Einführung dieser Systeme in England nun nicht mehr erfolgen wird.

Wenn auch die Kraftkosten auf diese Weise sich ausserordentlich billig stellen, so wird dieser Vorteil weit aufgewogen durch die Kompliziertheit der Mechanismen, welche notwendig sind, um die Beleuchtung zu regeln und die Batterien oder Maschinen in den Stromkreis selbstthätig ein- oder auszuschalten, da von einer derartigen Anlage natürlich verlangt wird, dass die Beleuchtung unabhängig von der Richtung und Geschwindigkeit des Zuges ist.

Auch die Akkumulatoren konnten sich bei den ziemlich hohen Anforderungen in Bezug auf Ladung und Entladung nicht gut bewähren. Da die Kraftquelle sich nur in einem Wagen des Zuges befand, konnten diese Systeme auch nur bei solchen Zügen Verwendung finden, welche entweder dauernd zusammengekuppelt sind oder nur selten getrennt werden. Bei der Midland-Railway hatte jeder Wagen noch seine besondere Batterie, welche jedoch nur für einige Stunden ausreichend war. Besonders die Voraussetzung geschlossener Züge nebst dem unbefriedigenden Funktionieren der Batterien hat schliesslich die Midland-Railway bewogen, von der elektrischen Beleuchtung abzugehen und Fettgas-Beleuchtung einzuführen. Für die anderen genannten Bahnen dürfte die gleiche Ursache wohl massgebend gewesen sein, von einer weiteren Einführung der elektrischen Beleuchtung abzusehen.

Auch in Deutschland hat man mit derartigen Systemen Versuche gemacht, so im Jahre 1886 auf der Strecke Frankfurt—Fulda nach Entwürfen von Löbbecke & Oesterreich, sowie auf der württembergischen Staatsbahn nach einem Entwurf von Professor Dietrich, doch sind diese Anlagen nur kurze Zeit in Betrieb gewesen. Für unsere deutschen Bahnen und auch wohl für die meisten grösseren Bahnnetze erscheint ein derartiges Beleuchtungssystem unzweckmässig, da dasselbe mehr oder weniger geschlossene Züge voraussetzt, während die Betriebsverhältnisse Selbständigkeit der Beleuchtung jedes einzelnen Wagens fordern.

Bei dem grossen Misstrauen, welches man in England infolge der vielen ungünstigen Erfahrungen dem Akkumulator im allgemeinen und dem für die Zugbeleuchtung im besondereu entgegenbrachte, ist auch später Einzelwagen-Beleuchtung lediglich mit Akkumulatoren nicht in Verwendung gekommen. Dahingegen ist die Firma J. Stone

& Co., London-Deptford mit einer Konstruktion hervorgetreten, welche die Beleuchtung einzelner Wagen nach einem ähnlichen System, wie das der Midland-Railway für geschlossene Züge, bewirkt.

Das Wesentliche des Systems ist folgendes: Die Dynamomaschine ist an einem Ende des Wagens am Untergestell federnd aufgehängt, vollständig von gusseisernem Gehäuse umgeben, und wird mittels eines Treibriemens von der Wagenachse getrieben. Überschreitet die Geschwindigkeit des Zuges eine gewisse Grenze, so fängt der Riemen an zu gleiten, wodurch verhindert wird, dass die Umdrehungszahl und damit die Spannung der Maschine steigt. Die Reguliervorrichtung schaltet Maschine und Batterie aus oder ein, je nach der Geschwindigkeit des Zuges.

Dieses System wurde zuerst auf der London—Tilbury—South-End-Railway ausprobiert, und sind die Versuche zur Zufriedenheit ausgefallen, sodass jetzt 400 Wagen dieser Bahn ausgerüstet sind. Die günstigen Erfolge haben in rascher Folge nicht weniger als 16 englische Verwaltungen veranlasst, gleichfalls Versuche mit diesem System anzustellen, sodass jetzt rund 1500 Wagen ausgerüstet sind. Das grosse Interesse, welches die englischen Bahnen, trotz vieler Misserfolge gerade in diesem Lande, dem elektrischen System immer noch entgegenbringen, zeugt am besten, dass man in diesem System die Beleuchtung der Zukunft erblickt.

Eine ähnliche Ausbildung der Einzelwagen-Beleuchtung vermittelst Akkumulatoren, die von einer durch die Wagenachse angetriebenen Dynamomaschine geladen werden, ist durch Ingenieur E. Dick in Karlsruhe, in Verbindung mit der Akkumulatorenfabrik Wüste & Rupprecht in Baden und Wien, auf der Linie Wien—St. Pölten in einem Lokalzuge von zwölf Personenwagen zur probeweisen Anwendung gekommen. Über dieses System, welches sich durch Betriebssicherheit, gute Regulierung, einfache Bedienung, geringes Anlagekapital und geringe Betriebskosten bei konstanter Spannung des Betriebsstromes auszeichnet, ist in der ETZ 1898, Heft 17, eingehend berichtet worden.

Jeder Wagen ist hier mit einer Batterie ausgerüstet. Die Batterien sind in bekannter Weise am Untergestelle in einem Behälter eingeschlossen und werden nur bei etwaiger Revision der Zellen geöffnet. Die Ladung der Akkumulatoren erfolgt während der Fahrt mittels einer einzigen Dynamomaschine, welche an irgend einem Wagen in derselben Art aufgehängt ist wie ein Strassenbahnmotor.

Die Ladung der Batterien erfolgt am Tage, während Nachts bei eingeschalteten Lampen die Dynamomaschine grösstenteils allein die Speisung der Lampen übernimmt; daher ist die Ladung in kurzer Zeit beendet und die Kapazität der Batterien kann eine verhältnis-

mässig geringe sein. Nur in der Zeit, in welcher der Zug eine kleinere Geschwindigkeit als 25 *km*/Std. besitzt, wie auch bei Stillstand, erfolgt die Speisung der Glühlampen von den Batterien allein. Ist die Zuggeschwindigkeit grösser als 25 *km*, dann deckt die Dynamomaschine grösstenteils den Strombedarf der Lampen.

Um nun den einzelnen Batterien den Maschinenstrom zuzuführen, durchzieht alle Wagen eine gemeinschaftliche Hauptleitung, bestehend aus zwei gut isolierten Kabeln von kräftigem Querschnitt, an welche die Batterien unter Zwischenschaltung von Sicherungen parallel angeschaltet sind. Zur Verbindung der Hauptleitung an den Wagenenden dienen leicht lösbare, flexible Kuppelungen.

Damit die Dynamo sowohl für Schnellzüge mit einer kleinen Anzahl Wagen, als auch für die längeren Personenzüge ausreicht, wurde als Normalie nur eine einzige Konstruktion entsprechend der grössten Belastung zu Grunde gelegt. Die effektive, maximale Leistung, welche die Dynamomaschine absorbiert, variiert in den Grenzen von 6—12 PS. Da die Regulierung der Klemmenspannung, sowie der Stromstärke der Dynamo nur durch Veränderung der Erregung geschieht, so bot vor allem die Konstruktion wie die Dimensionierung der einzelnen Teile grosse Schwierigkeiten. Diese bestanden hauptsächlich darin, dass die Maschine zwischen den Grenzen von 25—80 *km*/Std. nicht allein dieselbe Spannung an den Klemmen aufweisen, sondern auch funkenfrei arbeiten muss.

Die Dynamomaschine ist einerseits an der Wagenachse gelagert, anderseits am Wagenuntergestell mittels Gummipuffer federnd aufgehängt. Der Antrieb der Dynamo geschieht durch einfache Zahnradübersetzung im Verhältnis 1 : 4 von der Wagenachse aus.

Bei einem Radreifendurchmesser von 1000 *mm* und einer Zuggeschwindigkeit von 25 *km*/Std. ergiebt sich eine Anker-Umdrehungszahl von 530 in der Minute die höchste Umdrehungszahl bei 80 *km*/Std. beträgt, ohne das Gleiten der Räder auf den Schienen in Betracht zu ziehen, rund 1700 Umdrehungen in der Minute.

Da die Erregung der Maschine bei Stillstand des Zuges von den parallel geschalteten Batterien aus erfolgt, so musste ein Apparat zur Verwendung gelangen, welcher die Herstellung der richtigen Verbindungen der Dynamo mit den Batterien entsprechend der Fahrtrichtung besorgt. Dieser automatische Kommutator besteht im wesentlichen aus einer Wippe, welche mit drei doppelarmigen Kontakthebeln versehen ist. Diese drei Hebel sind miteinander starr verbunden, jedoch voneinander isoliert und drehbar gelagert, um bei Stillstand des Zuges einen grossen Widerstand in die Erregerleitung einzuschalten, d. h. um den Wattverlust auf ein Minimum zu reduzieren. Neben der Wippe befindet sich ein Elektromagnet, zwischen dessen

Polschuhen ein Lochanker drehbar angeordnet ist; die Wickelung des Lochankers ist in den Löchern in parallelen Ebenen untergebracht und der Anker selbst ist aus massivem, weichem Eisen hergestellt. Der Elektromagnet wird nun durch den Akkumulatorenstrom beständig erregt, während der Lochanker nur dann Strom empfängt, wenn die Maschine in Betrieb gesetzt wird, und so erhält man je nach der Spannung trotz der geringen Erregung des Magnetfeldes am Lochanker ein Drehmoment, durch welche derselbe entsprechend der Stromrichtung die Kommutierung bewirkt; in der Ruhelage stellen die drei Hebel weder auf der einen noch auf der anderen Seite Verbindung her. Diese Lage wird durch ein schweres Regulierungsgewicht hervorgerufen. Der Apparat ist ziemlich starken Erschütterungen unterworfen, und deshalb sind alle Teile äusserst solide ausgeführt. Um die Zu- und Abschaltung nach erfolgter Herstellung richtiger Verbindungen im gegebenen Momente zu bewirken, musste ein automatischer Ein- und Ausschalter zur Verwendung gelangen. Dieser Apparat tritt deshalb erst dann in Thätigkeit, wenn die Klemmenspannung der Dynamo in unserem Falle eine Höhe von rund 120 Volt erreicht hat.

Das Prinzip des Apparates ist aus dem Schaltungsschema Fig. 215 bei E ersichtlich. Ein Balancier trägt an beiden Enden je einen Eisenkern. Während der rechte Stab mit einem regulierbaren Gegengewicht versehen ist und dieses zugleich den Weg der Bewegung begrenzt, besitzt der linke Stab eine Kontaktgabel, mittels welcher die Verbindung der Dynamo mit den Batterien hergestellt wird. Die Eisenkerne tauchen in Solenoide ein, die ihrerseits mit je drei voneinander unabhängigen Wickelungen versehen sind. Die innerste und mittlere Wickelung besteht aus dünnem Drahte; erstere ist an die Hauptleitung bezw. an die parallel geschalteten Batterien, letztere an die Maschine angeschlossen. Die äusserste Wickelung der Spule ist aus dickem Drahte hergestellt.

Die innerste Wickelung hat nun den Zweck, die Eisenkerne zu polarisieren und zwar derart, dass beständig dieselben Magnetpole an beiden Eisenkernen vorhanden sind; die mittlere Wickelung bewirkt die Zu- und Abschaltung der Maschine an die Hauptleitung, vorausgesetzt, dass der Kommutator richtig funktioniert hat, denn in diesem Falle unterstützen die magnetisierenden Kräfte der beiden Wickelungen einander.

Sollte jedoch der Fall eintreten, dass der automatische Kommutator aus irgend einer Ursache stecken geblieben ist und es hätte sich die Fahrrichtung des Zuges geändert, so würden die Ampèrewindungen der mittleren Wickelung den Ampèrewindungen der inneren entgegenwirken; weil die Anziehungskraft auf die Kontaktvorrichtung

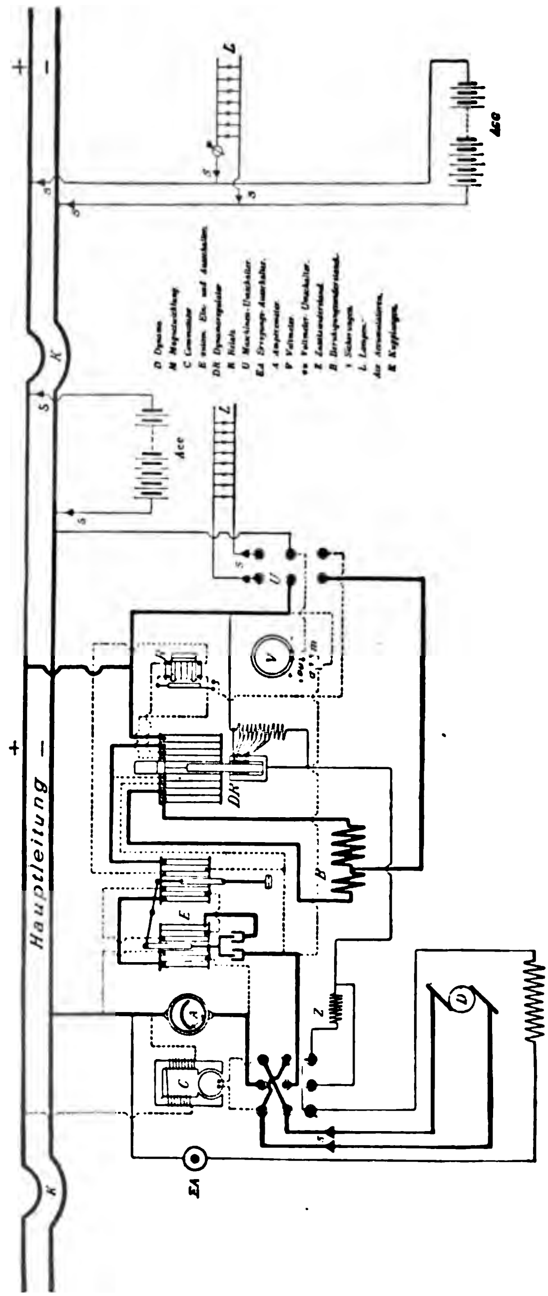


Fig. 215.

nun kleiner geworden ist, als wenn nur die innerste Wickelung allein auf die Eisenkerne einwirken würde, so kann somit unter keinen Umständen eine Zuschaltung der Maschine an die Batterien erfolgen. Sobald die Maschine durch die Kontaktvorrichtung an die Batterien angeschlossen ist, durchfliesst im gleichen Momente der Hauptstrom der Maschine die äusserste Wickelung, die Anziehungskraft wird nun um so stärker, je grösser die von der Maschine abgegebene Stromstärke ist. In ähnlicher Weise wie die Zuschaltung, erfolgt auch die Abschaltung der Maschine von den Batterien; ist die Spannung der Dynamo kleiner als rund 120 Volt, so ist auch die Anziehungskraft der mittleren Spule kleiner geworden, im weiteren sinkt zu gleicher Zeit die Stromstärke der Maschine auf Null herunter, um unter Umständen den entgegengesetzten Wert anzunehmen; der dabei auftretende Rückstrom in die Maschine, welcher ja nur einen Moment andauern kann, sichert ein sicheres Abschalten der Maschine. Da die Kontaktgabel in zwei Quecksilbergefässe eintaucht, so bietet die Frage einer eventuellen Funkenbildung einiges Interesse. Bei dem Versuchszuge Wien—St. Pölten hat sich ergeben, dass bei der Abschaltung absolut keine Funken an der Unterbrechungsstelle auftreten, während im Momente der Zuschaltung nur ein kurzes Zischen auftritt. Indem die Grösse der Funkenbildung von der an der Unterbrechungsstelle herrschenden Spannung abhängig ist und diese mit Hilfe des regulierbaren Gegengewichtes auf ein Minimum heruntergedrückt werden kann, so haben sich in der That während des fünfmonatlichen Betriebes die Quecksilberkontakte ausgezeichnet bewährt.

Bei dem neuen Systeme bezweckt der Dynamoregulator die selbstthätige Veränderung des Widerstandes der Magnetwickelung und zwar ist dieser Regulator direkt abhängig von der Stromabgabe wie auch von der Spannung der Maschine. Ein Eisenkern befindet sich in einem Solenoid und wird entsprechend den auf ihn wirkenden Ampèrewindungen in verschiedenen Lagen gehalten. Mit dem unteren Ende taucht der Kern in ein Gefäss ein, welches mit Quecksilber gefüllt ist. Das Gefäss besteht aus übereinander gelagerten durchlochten Eisenscheiben, die jedoch unter Zwischenschaltung von Glimmerscheiben voneinander isoliert und fest zusammengepresst sind; jede Scheibe ist mit einem Ableitungskabel versehen, welches nach dem zugehörenden Elemente des Regulierwiderstandes führt. Am oberen Ende ist der Eisenkern mit einem Kolben versehen, der in einer dicht abgeschlossenen Hülse gleiten kann und lediglich nur zur Abdämpfung allzu heftiger Bewegungen des Eisenkerns dient. Der Eisenkern wird von vier Wickelungen beeinflusst, und zwar bestehen die beiden inneren Wickelungen aus dünnem Drahte, die

beiden äusseren aus dickem Drahte; alle Wickelungen unterstützen einander.

Die erste Wickelung ist der an der Dynamomaschine jeweilen herrschenden Spannung unterworfen, die zweite Wickelung tritt nur bei beendeter Ladung in Kraft, die dritte wirkt während der Ladung, und die dritte und vierte Wickelung gemeinschaftlich während der Stromabgabe der Dynamo an die Lampen. Die Anordnung der Wickelung ist aus dem Schaltungsschema bei DR leicht ersichtlich.

Von ebenso grosser Bedeutung, wie die bis jetzt besprochenen Apparate, ist das Relais; demselben fällt die Aufgabe zu, bei beendeter Ladung eine Verminderung der Dynamospannung indirekt zu bewirken. Im wesentlichen besteht der Apparat aus einem Hufeisen-Elektromagneten, wobei auf jedem Schenkel eine Magnetisierungsspule sitzt. Sobald die Zellenspannung rund 2,5 Volt erreicht hat, wird der Anker durch die Einwirkung der unteren Magnetspule angezogen, im gleichen Moment wird ein Kontakt hergestellt, wodurch die obere Spule auch Strom empfängt; mit Hilfe einer Regulierfeder kann der Apparat leicht eingestellt werden. Das Relais tritt nur bei beendeter Ladung in Thätigkeit, während dasselbe bei der Stromabgabe der Dynamo an die Lampen abgeschaltet ist. Beim Versuchszuge sind alle Wagen mit je einer Batterie zu 57 Elementen für eine maximale Ladestromstärke von 3 Ampère ausgerüstet; die Kapazität von 25 Ampère-Stunden reicht aus, um die im Wagen befindlichen Lampen während acht Stunden speisen zu können, wobei der Wagen vom Zuge abgekuppelt sein kann. Die Batterie ist am Untergestelle des Wagens in bekannter Art angebracht und zwar in einem Holzkasten, welcher versperrbar ist. Der Kasten ist mit Öffnungen versehen, um den bei vollendeter Ladung auftretenden Gasen freien Abzug zu ermöglichen; endlich sind die Behälter innen und aussen mit zweckentsprechendem Anstriche versehen. Um noch einiges bezüglich der Installation in den einzelnen Wagen zu erwähnen, genügt es, für die Art der Anordnung der Sicherungen mit den Batterien und Lampen auf das Schaltungsschema zu verweisen; die rechte Seite zeigt die Anordnung der Leitungen in allen Wagen, ausgenommen natürlich im Generatorwagen. Wie ersichtlich, ist die Installation eine äusserst einfache, jedoch muss besonders hervorgehoben werden, dass bei einem eventuellen Kurzschluss an der Hauptleitung die Lampen in jedem einzelnen Wagen dennoch weiter mit Strom von der im Wagen befindlichen Batterie versorgt werden. Für jeden Wagen wurden durchschnittlich sieben Stück Lampen von je 8,5 HK für eine Spannung von 112 Volt montiert. Alle Lampen sind an der Wagendecke angebracht, ebenfalls befinden sich auf den Plattformen Lampen von je 5 HK; mittels eines Ausschalters, welcher sich an einem

Ende des Wagens in einem verschliessbaren Kasten befindet, ist es dem Schaffner möglich, alle Lampen auf einmal ein- bezw. ausschalten zu können.

Bei Stillstand des Zuges zirkuliert ein schwacher Strom von den parallel geschalteten Batterien nach der Erregerwickelung die Dynamomaschine und zwar von der negativen Hauptleitung durch die Magnetwickelung M und den Zusatzwiderstand Z nach der positiven Hauptleitung zurück; der Ausschalter EA hat den Zweck, bei anhaltendem Stillstande des Zuges während einiger Tage die Erregerleitung zu unterbrechen. Im weiteren geht der Strom durch die innerste Wickelung des automatischen Ein- und Ausschalters E, die untere Spule des Relais R und die innerste Wickelung des Dynamo-Regulators DR; auch könnte die Magnetwickelung des Kommutators C in Serie mit den eben angeführten Wickelungen geschaltet sein. In der Ladestellung befinden sich die beiden Hebel des Umschalters U in der unteren Lage; in der Lichtstellung aber sind dieselben in der oberen Lage, wodurch Verbindung mit den Glühlampen im Generatorwagen hergestellt wird; der Konduktor bringt somit ohne weiteres durch Umklappen der Hebel am Umschalter U die Lade- und Lichtstellung hervor. Um sich jederzeit über den Stand der momentanen Leistung der Maschine zu orientieren, ist es durch die vorhandenen Messinstrumente möglich, Stromstärke wie Spannung an der Maschine, wie an der Hauptleitung ablesen zu können. Im folgenden soll zuerst die Wirkungsweise der Schaltung während der Ladung besprochen werden.

Sobald der Zug und demzufolge die Armatur der Dynamo in Bewegung gesetzt wird, herrscht durch das vorhandene, schwache Feld der Dynamo eine Spannung an den Bürsten, welche der Tourenzahl und der Erregung entspricht; die Lochankerwickelung des Kommutators C durchfliesst nun ein Strom, wodurch die mit dem Anker direkt verbundenen drei Kontakthebel der Stromrichtung gemäss entweder nach der einen oder anderen Seite bewegt werden, um die richtigen Verbindungen der Maschine mit den Batterien herzustellen. Zu gleicher Zeit wird der Zusatzwiderstand Z kurzgeschlossen, worauf die Magnetwickelung M der vollen Spannung der Batterien ausgesetzt wird. Nachdem der Kommutator funktioniert hat, empfängt die mittlere Spule des Apparates E Strom, und hat die Zuggeschwindigkeit die kritische Grenze von rund 25 *km* in der Stunde erreicht, dann ist die Klemmenspannung der Maschine ein wenig grösser, als die der Batterien, der Apparat E ist nun so eingestellt, dass in diesem Momente die Zuschaltung der Maschine auf die Hauptleitung erfolgt.

Nimmt man an, die Zuggeschwindigkeit steigt fortwährend,

so ist klar, dass die an die Batterien abgegebene Stromstärke sich vergrössert und zwar bis zu einer bestimmten, maximalen Grenze; der Ladestrom umfliesst dementsprechend die äusserste Wickelung des Apparates E, wodurch die Kontaktgabel infolge vergrösserter Ampèrewindungszahl um so energischer in der Einschaltestellung verharren muss. Mit der eben erwähnten Wickelung ist die dritte Wickelung des Dynamoregulators DR und der eine Teil des Beruhigungswiderstandes B in Serie geschaltet, während die vierte Wickelung mit dem anderen Teile des Widerstandes B durch den Umschalter U kurzgeschlossen ist; dieser Widerstand ist so dimensioniert, dass derselbe bei Durchgang der maximalen Stromstärke rund 10 Volt absorbiert. Der Stromstoss, welcher eventuell im Augenblicke der Einschaltung eine Rückwirkung auf die Lager und die Zahnradübersetzung der Maschine ausüben könnte, wird daher durch die Verwendung des Widerstandes B erheblich geschwächt.

Bezüglich der Regulierung der Ladestromstärke muss bemerkt werden, dass infolge der kombinierten Einwirkung der innersten Wickelung, wie der dritten Wickelung auf den Eisenkern des Dynamoregulators die Stromstärke in jeder Zelle nie die zulässige Höhe übersteigt und die Ladestromstärke nur ein wenig mit zunehmender Zuggeschwindigkeit zunimmt, trotzdem die Anker-Umdrehungszahl in den Grenzen von 500—1700 in der Minute veränderlich ist.

Interesse bietet noch die Wirkungsweise der Apparate bei beendeter Ladung. Da die Zellenspannung den Wert von 2,5—2,6 Volt nicht übersteigen darf, so wird bei Eintritt dieser Spannung der Anker des Relais R angezogen und zwar aus dem Grunde, weil die Anziehungskraft der unteren Spule mit steigender Spannung an der Hauptleitung die Gegenkraft der Feder überwiegt. Nachdem die Kontaktfeder mit dem zugehörenden Stift in Berührung gekommen ist, wird auch die zweite Wickelung des Dynamoregulators der Klemmenspannung der Maschine ausgesetzt; der Eisenkern nimmt demzufolge eine relative höhere Lage ein, daher wird der Erregerstrom der Maschine geschwächt, die Ladestromstärke sinkt auf Null und die Spannung geht von 2,5 Volt auf etwa 2 Volt in jeder Zelle zurück. Um ein beständiges Vibrieren des Ankers zu vermeiden, was ja durch die reduzierte Spannung hervorgerufen würde, besitzt das Relais die zweite obere Spule, diese unterstützt die Wirkung der unteren. Eine Abschaltung der Maschine findet demnach erst dann statt, wenn die Zuggeschwindigkeit unter 25 *km*/Std. gesunken ist.

Nachträglich sei noch bemerkt, dass die beiden inneren Wickelungen des Dynamoregulators nach beendeter Ladung den Zweck erfüllen müssen, die Spannung an der Hauptleitung innerhalb der Grenzen von 2—2,1 Volt in jeder Zelle zu halten. Eine weitere

Ladung ist somit ausgeschlossen, obgleich die Maschine bei einer Zuggeschwindigkeit höher als 25 *km*/Std. immer noch mit den Batterien parallel geschaltet ist. Diese Anordnung ist von wesentlicher Bedeutung. Erreicht der Zug eine Haltestation, so nimmt die Zuggeschwindigkeit stetig ab, wobei zu einer gewissen Zeit die kritische Grenze der Tourenzahl der Maschine passiert wird; in dem Momente funktioniert der automatische Ausschalter E. Die Dynamo wird abgeschaltet und der Anker des Relais schnellt in seine Ruhelage zurück. Alsdann kann das Spiel wieder von neuem beginnen.

Im folgenden sollen nun die Vorgänge bei eingeschalteten Lampen besprochen werden. Sobald Licht gebraucht wird, schaltet der Wagenführer alle Lampen in den einzelnen Wagen mittels der früher erwähnten Schalter ein, im Generatorwagen dreht er den Umschalter herum, wobei die Lichtstellung herbeigeführt wird. Bei Stillstand des Zuges decken die Batterien nun allein den Strombedarf der Lampen; wenn aber der Zug in Bewegung ist, vollzieht sich die Zuschaltung der Dynamo in analoger Weise, wie während der Ladung; die Funktionen der Apparate sind demnach bereits bekannt. Jedoch hat die Schaltung eine Veränderung erfahren, und zwar ist nun in die Zuleitung der Dynamo an die Hauptleitung der gesamte Widerstand B, wie auch eine Zusatzwickelung des Dynamoregulators eingeschaltet, während die frühere Verbindung mit dem Relais unterbrochen wurde.

Angenommen, es hätte die Zuggeschwindigkeit rund 25 *km*/Std. erreicht, dann speist die Dynamo grösstenteils die Lampen, wobei den Batterien die wichtige Rolle der Regulierung der beinahe konstanten Lichtspannung zufällt.

In den 13 Wagen des Lokalzugs Wien—St. Pölten sind im ganzen 85 Stück 16-, 10- und 5-kerzige Lampen installiert; die Summe der Kerzenstärke beträgt 730, d. h. die Leuchtkraft der Lampen beträgt im Mittel 8,6 Kerzen. Da die Lampen rund 3,1 Watt/Kerze brauchen, so ist die gesamte Leistung 2260 Watt. Die Lampen sind für eine Normalspannung von 112 Volt gebaut, somit ist die an die Lampen abgegebene Stromstärke 20 Ampère. Indem der Dynamoregulator auch während des Parallelbetriebes nur eine Maximalspannung von $57 \cdot 2{,}6 = 148$ Volt an der Maschine zulässt, so müssen $148 - 112 = 36$ Volt bei Auftreten der Maximalspannung im Beruhigungswiderstand B vernichtet werden; der totale Widerstand B beträgt demnach $\frac{36}{20} = 1{,}8\ \Omega$. In der Ausführung wurde derselbe auf 2 Ω erhöht. Da an der Hauptleitung, d. h. an den Glühlampen unter Vernachlässigung der Leitungswiderstände praktisch nur eine

Spannung herrschen kann, so besteht je nach dem Grade der Entladung der Batterien die Beziehung:

$$E - J \cdot R = e - i \cdot r,$$

in welcher E die Klemmenspannung der Dynamo, e die EMK einer Batterie, J die von der Dynamo abgegebene Stromstärke, R den Widerstand B, r den inneren Widerstand einer Batterie bedeutet.

Weitere Angaben über derartige Konstruktionen sind in der Z. d. V. d. Ing. 1896, Heft 2, S. 29—31 enthalten.

Ein anderes System der elektrischen Beleuchtung von Eisenbahnwagen ist in einem Wagen erster Klasse der Compagnie pour la Méditerranée versuchsweise eingerichtet worden. Dasselbe besteht, wie das System Stone, aus einer Akkumulatorenbatterie und einem Generator, der von einer der Achsen getrieben wird, und nach Erreichung einer gewissen Geschwindigkeit einen konstanten Strom erzeugt. Die Dynamo hat konstante Erregung und ihre Klemmenspannung ist nahezu proportional ihrer Geschwindigkeit, die ihrerseits der Geschwindigkeit der sie treibenden Achse proportional ist. Solange die Klemmenspannung der Dynamo kleiner ist als die der Batterie, wird der die Dynamo mit der Batterie verbindende Stromkreis durch einen automatischen Ein- und Ausschalter offen gehalten und die Erregung des Feldes der Dynamo erfolgt allein durch die Batterie, welche gleichzeitig die Lampen speist. Wenn infolge zunehmender Geschwindigkeit des Zuges die beiden Spannungen gleich werden, so schaltet der automatische Ein- und Ausschalter die Batterie mit der Dynamo parallel und letztere fängt an, einen Teil des zur Speisung der Lampen und zur Erregung des Feldes erforderlichen Stromes zu liefern. Bei einer geringen Vermehrung der Geschwindigkeit wird der überschüssige Strom, soweit er nicht zur Beleuchtung und Erregung erforderlich ist, zur Ladung der Batterie verwandt.

Zur Regulierung der Stromstärke der Dynamo dient ein kleiner, von dem zu regulierenden Strome durchflossener Hauptstromelektromotor, welcher in der unten beschriebenen Weise mechanisch gebremst wird. Sobald nun die Stromstärke eine bestimmte Grenze erreicht hat, setzt sich der Motor trotz der Wirkung der Bremse in Gang, die von ihm entwickelte Spannung subtrahiert sich von derjenigen der Dynamo und die Stärke des Stromes bleibt konstant, da die Differenz der proportional zunehmenden Spannungen beider einen konstanten Wert behält. Die Dynamo ist zweipolig und giebt bei 1350 Umdrehungen pro Minute 30 Ampère bei 15,5 Volt; sie ist am Wagengestell mittels eines Gelenkes aufgehängt und wird durch ein Drahtseil in fester Lage gehalten. Die Übertragung der Bewegung der Achse auf die Dynamo geschieht mittels eines Ledertriebes, das auf das eine Ende einer die Verlängerung der Ankerwelle bildenden

Gelenkstange montiert ist, während das andere Ende des letzteren an dem Reifen eines der Räder der mittleren Wagenachse befestigt ist. Der zur Regulierung des Stromes dienende Motor ist ein zweipoliger Hauptschlussmotor. Die Ankerwelle desselben trägt eine Bronzescheibe, gegen welche mittels Federn Bremsklötze aus Kohle gedrückt werden. Die Spannung der Federn wird derart geregelt, dass der Motor sich nur dann in Gang setzen kann, wenn die ihn durchfliessende Stromstärke 28 Ampère überschreitet, was bei einer Geschwindigkeit von 50 *km* eintritt. Von da ab bleibt infolge der Wirkung des Regulators der Strom auf 28 Ampère, wovon 16 Ampère zur Speisung der Lampen, 8 Ampère zur Aufladung der Batterie und 4 Ampère zur Erregung der Dynamo verwendet werden. Die Akkumulatorenbatterie besteht aus 8 Boese'schen Elementen von 208 *kg* Gewicht und einer nutzbaren Kapazität von 180 Ampère-Stunden, welche für sich allein bei etwa 20 Ampère Entladestrom die Beleuchtung 8 bis 9 Stunden versorgen könnten. Der Wagen wird von 13 Glühlampen à 9 HK beleuchtet, die jede 1,22 Ampère bei 15 Volt erfordern. Die beiden Lampen eines Abteils können mittels eines Umschalters hintereinander geschaltet werden.

Im nachfolgenden sei nun die Zugbeleuchtung durch reinen Akkumulatorenbetrieb näher behandelt.

Eine der ersten grösseren Anlagen dieser Art ist die der schwedischen Westküstbahn, welche Helsingborg mit Christiania verbindet. Die Anordnung der Beleuchtung setzt hier, wie bei allen Anlagen der Bahnen Schwedens, geschlossene Züge voraus. Es sind zwei Batterien in jedem Zuge aufgestellt und zwar je eine in dem ersten und eine in dem letzten Wagen. Man kann alsdann den Zug trennen, ohne dass die Beleuchtung unterbrochen wird, indem jede Batterie die Beleuchtung des dem Batteriewagen anhängenden Teiles des Zuges übernimmt. Es sind demnach Kuppelungen zwischen den Wagen, wie bei dem englischen System, erforderlich.

Zur Zeit sind sämtliche Wagen der Bahn elektrisch beleuchtet. Die Batterien sind von der E.P.S.-Gesellschaft geliefert. In den letzten Jahren sind in Schweden eine grössere Anzahl Privatbahnen nach dem gleichen System, teilweise auch nur mit einer Batterie für den Zug beleuchtet. Es sind dies die Bahnen: Helsingborg—Hessleholm, Gotenburg—Falun, Falun—Gefle, Gefle—Ockelbo, Gefle—Upsala, Gotenburg—Boras, Halmstadt—Nassjö und Stockholm—Orebro.

Auch bei den Königl. dänischen Staatsbahnen auf Seeland wurde 1891 elektrische Beleuchtung eingeführt.

Die sämtlichen dänischen Staatsbahnen haben sich neuerdings

entschlossen, ihre Züge durchweg mit elektrischer Beleuchtung zu versehen.

Die Beleuchtung geschlossener Züge ist gleichfalls mehrfach in Russland ausgeführt worden, unter anderem auf der Zarskoe—Selo-Bahn.

Auf der Krons-Eisenbahn Reval—Petersburg wurden Versuche mit Einzelwagen-Beleuchtung angestellt, welche sehr günstig ausfielen.

Auf den Bahnen der übrigen Länder des Kontinents fand nur Einzelwagen-Beleuchtung Verwendung. Bei dieser Anordnung befinden sich die Batterien im Wagenuntergestell in besonderen Behältern, aus welchen sie behufs Ladung genommen und zu einer Ladestation gebracht werden. Die Elemente einer Batterie sind des leichten Transportes halber zu mehreren in einem tragbaren Holzkasten eingebaut, dessen Gewicht so bemessen ist, dass ein oder zwei Mann denselben leicht tragen können.

Als Nachteil dieser Anordnung ist zu bemerken, dass der Transport dieser Akkumulatorenkästen grosses Bedienungspersonal erfordert, und dass die Batterien durch den Transport Schaden erleiden können; ferner kann der Fall eintreten, dass infolge Unachtsamkeit die entladenen Batterien wieder in die Wagen geschoben werden, wodurch ein baldiges Versagen der Beleuchtung eintritt. Endlich muss man für jeden Wagen der periodischen Aufladung wegen zwei Batterien versehen, welcher Umstand das Anlagekapital wesentlich erhöht.

Zur Vereinfachung des Betriebes wird für alle Wagen einer Verwaltung eine einheitliche Grösse der Batterien vorgesehen. Besonders reich beleuchtete Wagen erhalten zwei oder mehr Batterien. Die Ladestationen für die Batterien sind meist im Anschluss an die Beleuchtungsanlagen der betreffenden Bahnhöfe eingerichtet, sodass die Maschinenanlage durch Lieferung des Ladestromes günstiger ausgenutzt wird. Hierdurch kommen naturgemäss die Kraft- und Wartungskosten verhältnismässig sehr niedrig zu stehen.

Die älteste Anlage und wohl auch die bekannteste ist diejenige der Jura — Simplon-Bahn. Die ersten Wagen wurden im Jahre 1889 ausgerüstet mit Batterien System Huber aus der Fabrik von Blanc & Co. zu Marly-le-Grand. Jetzt verwendet die Bahn solche der Akkumulatorenfabrik Aktiengesellschaft, Berlin.

Dem Beispiele der Jura—Simplon-Bahn auf allmähliche Einführung der elektrischen Beleuchtung sind im letzten Jahre auch sämtliche Schweizer Bahnen gefolgt: die Schweizer Central-Bahn, die Jura—Neufchatelois-Bahn, die Emmenthal- und Seethal-Bahn.

In Italien besteht gleichfalls eine der ältesten Installationen, die der jetzigen Nord-Milano-Bahn, deren 53 Wagen mit Batterien Tudor'schen Systems der Akkumulatorenfabrik, Berlin, seit dem Jahre 1889 ausgerüstet sind.

In Österreich hat die Kaiser Ferdinand-Nord-Bahn seit dem Frühjahr 1893 umfassende Versuche mit elektrischer Beleuchtung angestellt und teils Akkumulatoren von W. A. Boese & Co. in Berlin und teils von der Akkumulatorenfabrik A.-G., Berlin verwandt.

Desgleichen hat die ungarische Staatsbahn Wagen mit Akkumulatoren beleuchtet. Der Wagenpark der Arad—Czanader-Bahn ist vollständig für elektrische Beleuchtung eingerichtet. Ferner seien die Kaschau—Oderberger-Bahn und die rumänischen Staatsbahnen mit ihren diesbezüglichen Bestrebungen erwähnt.

In Deutschland wurden vielfach Versuche vorgenommen, welche, besonders ihrer geringen Ausdehnung wegen, niemals Erfolg gehabt haben.

Elektrisch beleuchtet sind zur Zeit sämtliche Wagen der Dortmund—Gronau—Enscheder Eisenbahn, sowie der Marienburg—Mlawkaer-Bahn. Bei den deutschen Staatsbahnen liegen die Verhältnisse insofern wenig günstig, als die Gasbeleuchtung nahezu vollständig durchgeführt ist und man nicht erwarten kann, dass, nachdem letztere mit vielen Kosten eingeführt ist, man zur Einführung eines anderen, wenn auch besseren Systems übergehen wird. Die einzige deutsche Staatsbahn, welche zur Zeit Versuche mit elektrischer Beleuchtung anstellt, ist die Grossherzoglich Badische.

Sehr ausgedehnte Verwendung hat jedoch das System bei den Bahnpostwagen der Deutschen Reichspost gefunden, und zwar sind zur Zeit gegen 1200 Wagen eingerichtet, und dürfte es wohl nicht mehr lange dauern, bis der gesamte Wagenpark diese Beleuchtung besitzt. Die Batterien entstammen der Fabrik W. A. Boese & Co. in Berlin.

Noch heute hört man seitens der Verwaltungen oft die Meinung, dass die elektrische Einrichtung die Wagen zu sehr belaste. Demgegenüber ist jedoch nachgewiesen, dass keine einzige der ausgeführten Beleuchtungsanlagen mit Akkumulatoren ein so grosses Gewicht hat wie die Gaseinrichtung bei Zugrundelegung gleicher Leistung. So verhält sich das Gewicht der elektrischen Ausrüstung zu dem einer Gaseinrichtung gleicher Leistung auf der

Jura—Simplon-Bahn wie 16 zu 25,
Dortmund—Gronau—Enscheder-Bahn wie 7 zu 9,
Kaiser Ferdinand-Nord-Bahn wie 2 zu 3,
bei den Bahnpostwagen der Reichspost wie 9 zu 14.

Es ist also die Gaseinrichtung durchschnittlich 30% schwerer.

Eine wesentliche Förderung fand die elektrische Zugbeleuchtung durch die Konstruktion des Gross-Oberflächen Akkumulators, da dieser einer bedeutend grösseren Beanspruchung sowohl bei der Ladung, als auch bei der Entladung gewachsen ist.

Es ist naturgemäss, dass ein derartiger Akkumulator, für die verhältnismässig sehr schwache und gleichmässige Beanspruchung der Wagenbeleuchtung vorzüglich geeignet ist, zumal die Betriebskosten durch die grössere Haltbarkeit desselben nicht unwesentlich erniedrigt werden. Die Einführung desselben bietet jedoch noch einen weiteren Vorteil insofern, als durch die schnelle Aufladung, welche bei demselben zulässig ist, eine Auswechselung der Batterien behufs Ladung und der Transport von und zu der Ladestation, welche verhältnismässig viel Arbeit verursachen, vermieden werden kann. Es wird dann die Ladezeit der Batterien der Aufenthaltszeit der Züge auf den Abstellbahnhöfen, welche durchschnittlich 4—5 Stunden beträgt, angepasst und je nach den Verhältnissen auf 2—4 Stunden bemessen. Ausnahmsweise ist es auch zulässig, die Ladung in noch kürzerer Zeit bis zur Dauer von $^1/_2$ Stunde vorzunehmen, sobald durch besondere Betriebsverhältnisse, durch Zugverspätungen, Schneeverwehungen, erhöhten Verkehr an den Festtagen eine Verkürzung der Haltezeit der Züge eintritt.

Die Anordnung zum Aufladen der Batterien ist die folgende: Es werden von dem Maschinenhaus Kabel bis an die Aufenthaltsplätze der Züge geführt, welche dort in besonderen Leitungsständern enden, und von diesen aus wird der Anschluss an die Batterien der Wagen mittels beweglicher Kabel bewirkt. Die Maschinenanlage muss hierbei so dimensioniert sein, dass sie die Höchstzahl der Batterien, welche zu gleicher Zeit geladen werden, mit Strom versorgen kann. Es wird meistens die vorhandene Beleuchtungsanlage genügen eventuell mit Zuhilfenahme einer kleinen Batterie, der wechselnden Belastung wegen.

Die Königl. ungarische Staatsbahn hat jetzt eine derartige Anlage für Schnellaufladung, allerdings zunächst nur für wenige Wagen, in Betrieb gesetzt, und auch andere Bahnen beabsichtigen, Versuche anzustellen. Desgleichen sind die neuen, für die dänische Staatsbahn von der Hagener Fabrik gelieferten 1152 Elemente für eine drei- bis vierstündige Ladung vorgesehen. Die Batterien werden für geschlossene Zugbeleuchtung verwendet, doch sind sie so eingerichtet, dass man ohne grosse Abänderungen zur Einzelwagenbeleuchtung übergehen kann, falls man sich entschliesst, das System der geschlossenen Zugbeleuchtung zu verlassen.

Die verhältnismässig grosse Erweiterung der elektrischen Wagen-

beleuchtung in Dänemark ist sicher als ein Zeichen zu betrachten, dass man mit diesem System durchaus zufrieden ist.

Die grosse Anzahl der schon ausgeführten oder noch in der Einrichtung begriffenen Anlagen ist wohl der beste Beweis, dass dieses neue Anwendungsgebiet des elektrischen Stromes aus dem Versuchsstadium herausgetreten ist und sich in kurzer Zeit wegen seiner unbestreitbaren Vorzüge noch weiter ausbreiten wird.

Diejenigen Bahnen, welche vor Einführung einer besseren Beleuchtung stehen, dürften wohl in den meisten Fällen die elektrische bevorzugen, und dürfte dabei ausser den geringen Betriebskosten vor allem der Wunsch massgebend sein, die elektrischen Stationen der Bahnhöfe besser auszunutzen, welche heute wohl bei den meisten Bahnverwaltungen bestehen.

Wirtschaftliche Berechnungen über Kosten der elektrischen Beleuchtung im Vergleich zur Ölgasbeleuchtung, siehe Z. d. V. d. Ing. 1896, Heft 4, sowie Glasers Annalen, Bd. 40, No. 479.

Die bei der Zugbeleuchtung angewandten Glühlampen sind meist solche mit geringem Wattverbrauch. Ein Nachteil derartiger Lampen ist ihre oft bedeutende Helligkeitsabnahme nach längerer Brenndauer, sodass man bei Aufstellung von Kostenberechnungen höchstens 300 nutzbare Brennstunden für eine Glühlampe einsetzen darf. Sehr gute Fabrikate würden vielleicht noch höhere Brennstundenzahlen ohne merkbaren Helligkeitsnachlass erreichen.

Es ist bei allen diesen Lampen jedoch auf genaue Einhaltung der vorgeschriebenen Spannung zu achten, da dieselben gegen Überspannung sehr empfindlich sind.

Die fortschreitende Entwickelung des elektrischen Betriebes auch für Vollbahnen wird natürlich wieder eine vollständige Umwälzung der Zugbeleuchtung hervorrufen, da in diesem Fall die Betriebskraft auch zur Beleuchtung verwendet wird, wie dies heute bei den elektrischen Strassenbahnen geschieht; es erklärt sich daraus leicht, dass diese bedeutend bessere Beleuchtungseinrichtungen besitzen, als Vollbahnen mit Dampfbetrieb, welche die zur Speisung der Lampen nötige elektrische Energie aufgespeichert mitführen müssen.

Ein weiterer Punkt, welcher bei unseren heutigen Verkehrsverhältnissen die grösste Beachtung verdient, ist die Streckenbeleuchtung. Auf den Bahnhofsgebieten erfolgt dieselbe durch stationäre Beleuchtungseinrichtungen, während auf freien Strecken das Licht von der Lokomotive selbst vorausgeworfen werden muss.

Bei schnell fahrenden Bahnen ist es daher von Wichtigkeit, während der Abend- und Nachtstunden eine starke Beleuchtungsquelle mit sich zu führen. Dieselben Gründe, welche für die allgemeine Einführung der elektrischen Beleuchtung des Wageninneren gegen-

über der Petroleum- und Gasbeleuchtung massgebend waren, können auch für die Aussenbeleuchtung fahrender Züge Geltung behalten.

Eine kräftige Aussenbeleuchtung kann indes nur mit **Bogenlampen** erzielt werden und von diesen auch nur dann, wenn ihre innere Konstruktion die Bedürfnisse des Fahrbetriebes befriedigt. Eine solche Lampe, amerikanischen Ursprungs (**Dayton Manufacturing Co., Dayton, Ohio**), soll im nachfolgenden näher beschrieben werden, da deren Einfachheit und Stabilität besonders bemerkenswert ist.

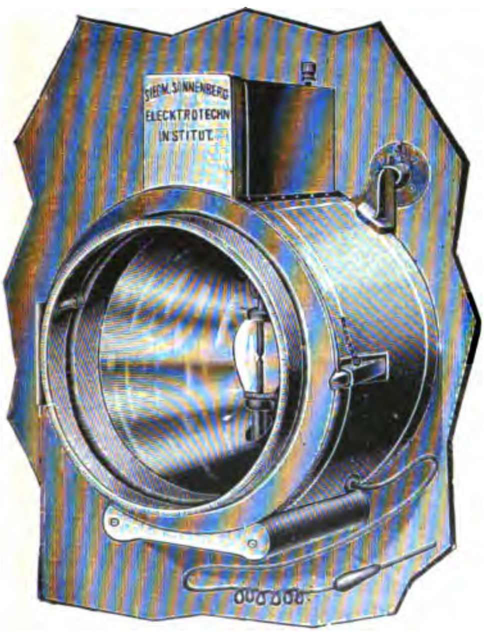


Fig. 216.

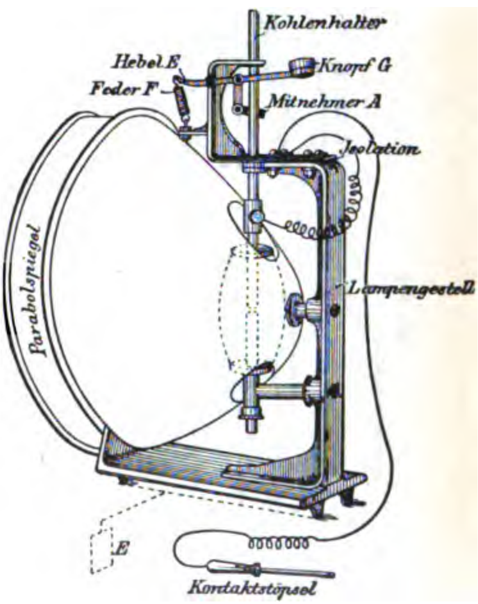


Fig. 217.

Die Ausführung dieser Lampen ist ebenso originell als bedeutungsvoll, denn im Bahnbetrieb ist nichts so wichtig, als die Einfachheit und die Solidität der Einrichtungen.

Diese Bogenlampe unterscheidet sich von den gebräuchlichen Ausführungen dadurch, dass sie jeder automatischen Regulierung entbehrt, und dass der Lichtbogen im luftabgeschlossenen Raume brennt. Die Lampe ist von einem Blechschutzgehäuse umschlossen, und der Lichtbogen befindet sich im Brennpunkt eines Paraboloidreflektors. Die Sammlung sämtlicher Lichtstrahlen zu einem gleichmässigen Lichtbündel ist hierdurch vollkommener ermöglicht als durch Anwendung lichtstarker Glühlampen oder durch Anordnung

mehrerer Glühlampen in einem Reflektor. Die gesamte Lampen- und Reflektoreinrichtung lässt sich gemeinsam aus dem Schutzgehäuse entfernen, worin sie durch eine Schlittenführung mit Verschlussfeder eine derartig feste Lage erhält, dass ein Lockern der Lampe durch Stösse oder Schwankungen nicht eintreten kann.

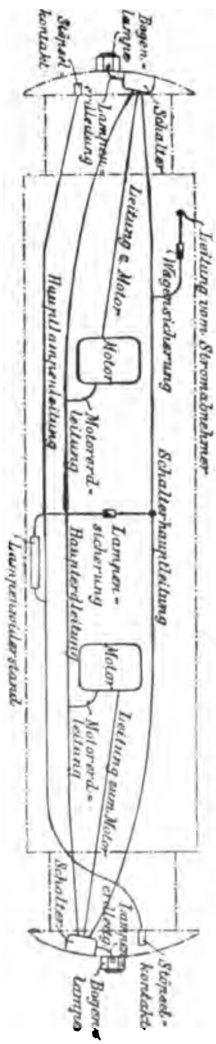
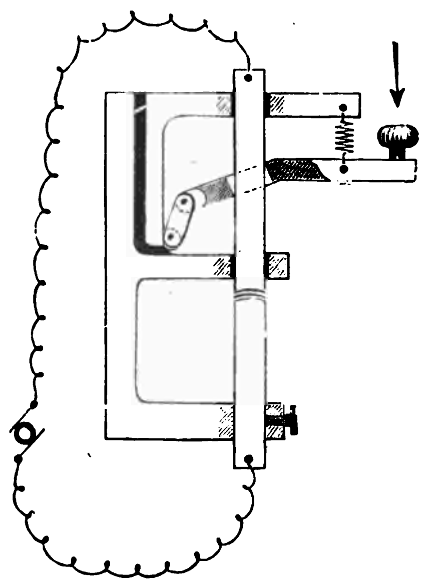


Fig. 218.

Fig. 216 zeigt die Gesamtansicht der Lampe im Gehäuse, während Fig. 217 den herausgezogenen Lampenteil darstellt.

Fig. 218 zeigt schematisch die Schaltung der Lampe in einem elektrischen Strassenbahnwagen.


Fig. 219.

Das Gestell der Lampe bildet den einen Pol und ist hier an Erde gelegt. Wenn die Lampe bei anderer Verwendungsart keinen Erdpol besitzt, so ist darauf zu achten, dass der Minuspol mit dem Lampengestell verbunden wird, da sich dadurch der Lichtbogen länger im Brennpunkt des Paraboloides hält.

Der zugehörige Vorschaltwiderstand ist derart bemessen, dass die Lampe in einem Stromkreis bis zu 500 Volt Spannung brennen kann. Das Einschalten der Lampe geschieht durch einen Stöpsel-

kontakt. Der Stromkreis wird durch Niederdrücken des sich im oberen Teil der Lampe befindlichen Druckknopfes geschlossen, wie Fig. 219 dieses schematisch zeigt. Der untere Kohlenhalter ist durch eine Zahnstange, welche durch eine Druckschraube in ihrer Lage fixiert wird, verschiebbar, um den Berührungspunkt der Kohlen in den Brennpunkt einstellen zu können. Der obere Kohlenhalter ist nach Niederdrücken des Knopfes frei beweglich, sodass Berührung der Kohlen eintritt. Der mit dem Knopf verbundene Federmechanismus wirkt durch eine Klemmvorrichtung derart auf den oberen Kohlenhalter ein, dass nach Loslassen des Knopfes die obere Kohle etwas gehoben wird, und zwar um einen Betrag, welcher durch Nachstellen der Feder reguliert werden kann. Das Mitnehmen des oberen Kohlenhalters wird durch eine Vorrichtung erreicht, welche man als einseitig wirkende Reibungskuppelung bezeichnen kann.

Der Lichtbogen brennt im luftabgeschlossenen Raume einer

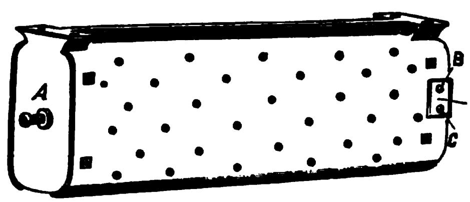


Fig. 220.

Klarglasglocke, welche durch eine Überfangmutter auf den unteren Kohlenhalter gepresst und mit Asbest abgedichtet wird. Der obere Verschluss wird durch eine lose auf die Glasglocke aufgelegte Gusseisenscheibe erreicht, welche in der Mitte ein Loch zum Einführen der oberen Kohle enthält.

Da der Lichtbogen im luftabgeschlossenen Raum brennt, wird die Krater- und Kegelbildung an den Kohlen vermieden; es flachen sich die beiden Kohlenenden fast gleichmässig ab, wodurch eine gleichmässige Lichtverteilung besonders in der Horizontalebene entsteht.

Wenn ein Ersatz der Kohlen nötig ist, stellt man den unteren Kohlenhalter möglichst weit nach unten und den oberen möglichst weit nach oben, nimmt den oberen Kohlenrest mit der zur Abdichtung dienenden gusseisernen Scheibe heraus und schraubt die Glasglocke los, was ein Herausnehmen des unteren Restes ermöglicht. Das Einsetzen neuer Kohlen geschieht auf die umgekehrte Weise, indem man in den unteren Halter eine rund 20 *cm* und in den oberen eine rund 12 *cm* lange Kohle einsetzt. Bei der Auswahl der Kohlen ist streng darauf zu achten, dass nur die beste Qualität Homogenkohle zur Verwendung gelangt. Bei jedem Kohlenersatz ist die Klarglas-

glocke vermittels eines mit Benzin getränkten Lappens vom anhaftenden Kohlenstaub zu reinigen. Man wird bezüglich der Leuchtkraft die besten Ergebnisse nur dann erhalten, wenn sich der Lichtbogen genau im Brennpunkt des Paraboloidspiegels befindet. Die einmalige Justierung des Lichtbogens muss eine derartige sein, dass durch die Reibungskuppelung die beiden Kohlenspitzen etwa 3 *mm* voneinander entfernt werden. Wenn durch irgend einen Zufall die Lampe verlischt, so genügt ein Niederdrücken des Knopfes, um den Lichtbogen wieder einzuleiten.

Die Stromquelle für diese Lampe kann eine Akkumulatorenbatterie und auch jede beliebige Dynamomaschine sein, die man auf der Lokomotive oder an den Achsen eines Wagens anbringen kann.

Diese Dynamomaschine müsste zweckentsprechend mit einer kleinen Akkumulatorenbatterie in Verbindung sein, wie dies bei der vorher beschriebenen Zugbeleuchtungsmethode von Dick der Fall ist, obgleich die Lampe gegen Spannungsschwankungen sehr unempfindlich ist. Bei elektrischen Strassen- und Vollbahnen kann direkt der Betriebsstrom verwendet werden, welcher indessen eine höhere Spannung besitzt als der Spannung des Lichtbogens entspricht. In diesem Falle muss ein entsprechender Vorschaltwiderstand Anwendung finden, der zugleich wie bei allen Bogenlampen als Beruhigungswiderstand ausgenutzt wird. Fig. 220 stellt diesen Vorschaltwiderstand dar, der zugleich benutzt werden kann, um das Wageninnere elektrisch zu heizen.

Weitere Belehrung über die Betriebsmittelbeleuchtung bringt das neu erschienene Werk:

»Die Beleuchtung von Eisenbahn-Personenwagen mit besonderer Berücksichtigung der Elektricität« von Dr. Max Büttner. Verlag von Julius Springer, Berlin, sowie ETZ 1900, Heft 42, S. 870; Z. d. V. d. Ing. 1901, No. 6, S. 212; ETZ 1899, Heft 49, S. 860; ETZ 1900, Heft 2, S. 50 ff.; Elektricität 1900, Heft 4, S. 83 ff. und Heft 5, sowie Heft 39, S. 1245 ff.; ETZ 1900, Heft 47, S. 969; ETZ 1901, Heft 1, S. 17; ETZ 1901, Heft 1, S. 29; ETZ 1901, Heft 4, S. 83 und 91; Elektrotechnischer Anzeiger 1897, Heft 70.

X.

Industriebahnen.

Die elektrischen Strassenbahnen, welche bis heute fast ausschliesslich dem Personenverkehr dienen, befinden sich auf einer technischen Höhe, welche nichts mehr zu wünschen übrig lässt. In Bezug auf ihr wirtschaftliches Dasein fristen sie in vielen Fällen ein recht beschauliches Leben. Da, wo der Personenverkehr an und für sich ein schwacher ist, wird jedes Verkehrsmittel, gleichgültig ob es mittels Elektrizität oder Pferden betrieben wird, nur sehr spärliche Erträgnisse abwerfen. In diesem letzteren Falle kann auch der Pferdebetrieb noch mit dem elektrischen Betrieb in wirtschaftlicher Beziehung wetteifern, sofern nicht für die Motorbahnen das teure Kraftwerk zugleich für Beleuchtung von Ort und Umgebung und zur Kraftübertragung ausgenutzt werden kann. Ist dieses letztere der Fall, so wird selbst ein spärlicher Personenbetrieb noch eine Rente abzuwerfen imstande sein, und wir sehen heute Städte von 20 bis 25000 Einwohnern mit elektrischen Strassenbahnen beglückt, von denen man nicht gerade sagen kann, dass sie bei ihrer Kombination mit einem elektrischen Licht- und Kraftwerk etwa ungesunde Verhältnisse geschaffen hätten.

Nachdem nunmehr fast alle grossen Städte, und bereits ein ansehnlicher Teil der kleineren Provinzialstädte mit derartigen Anlagen versehen worden sind, tritt auch die Frage an uns heran, ob nicht auch noch kleinere Ortschaften für sich und ihre Umgebung nutzbringend eine derartige Anlage erhalten können. Die technischen Bestrebungen, mit den einfachsten Mitteln allen Verkehrsansprüchen zu genügen, haben es zuwege gebracht, dass man thatsächlich auf einige Rentabilität rechnen kann, wenn man neben dem spärlichen Personenverkehr einen Kleingüter- und Grossfrachten-Verkehr bewältigt, der unter Umständen sogar einen grösseren Umfang annehmen kann, als der Personenverkehr.

Die Güter haben die angenehme Eigenschaft, dass sie auch warten können, bis sie befördert werden, und dass sie niemals eine vernichtende Kritik darum an das Verkehrsmittel stellen, weil die Beförderung einmal nicht prompt erfolgt sei.

Nun ist es ein alter Grundsatz für den Güterverkehr, in Sammelladungen zu verfrachten, und darin niedrige Tarife zu hohen Einnahmen führen zu lassen. Diesem alten Grundsatz wird aber der elektrische Betrieb wohl niemals gehorchen können, denn bekanntlich eignet sich der elektrische Betrieb viel besser für die Beförderung kleinerer Quantitäten aber mit häufigerer Folge.

Es kann aber nicht Aufgabe einer elektrischen Bahn sein, einen Massengüterverkehr zu bewältigen, wie ihn die Hauptbahn bringt, sondern der Kleinbahn fällt die Aufgabe zu, die Massengüter zu verteilen, und dies kann und braucht nicht in langen Zügen zu geschehen.

Sehen wir daher von einer Gebirgsthalbahn ab, die man vielleicht in den meisten Fällen selbst als Kleinbahn billiger durch Dampf betreiben kann, so müssen wir damit rechnen, dass mit einem elektrischen Motorwagen höchstens 2 bis 3 schmalspurige Güterwagen befördert werden.

Da, wo die Kleinbahn die vollspurigen Fabrikanschlussgleise ersetzen soll, wird man natürlich auch vollspurige Güterwagen auf schmalspurigen Drehschemeln oder auf schmalspurigen Unterschiebewagen befördern wollen und können. Wenn indess die Entfernung zwischen dem Güterbahnhof der Hauptbahn und den Fabriken den Charakter des Rangierdienstes ausschliesst, wird man mit Umladen des Inhaltes aus den Hauptbahn-Güterwagen in schmalspurige Güterwagen rechnen müssen, wobei das wirtschaftliche Exempel geringere Ausgaben durch das Umladen ergeben muss, als das »Aufschemeln« auf Untergestelle.

Neben dem Überführen der Vollbahngüter kommt für die, die Kleinbahn durchziehenden Ortschaften auch der Lokal-Güterverkehr in Betracht. Diesen durch elektrische Betriebsmittel zu bewältigen, zeigt keine technischen Schwierigkeiten, und die wirtschaftlichen haben hier nur mit dem Güter-Fuhrbetrieb zu kämpfen. Demnach kann man die Tarife nach diesem richten.

Es sei z. B. zwischen zwei Orten A und B der Austausch von Waren, Rohstoffen, Industrieerzeugnissen u. dergl. durch Landstrassen-Fuhrwerke bisher bewältigt worden. Beim Erbauen einer Kleinbahn auf gleicher Strasse oder zwischen gleichen Orten kann mit gutem finanziellen Erfolge dieser bisherige Fuhrwerksbetrieb übernommen werden, selbst wenn man, um mit den alten Gewohnheiten der Anwohner zu rechnen, um 10 bis 20% je nach Lage der Bahn und der herrschenden Verhältnisse billigere Tarife aufstellt. Eine genügende Ausnutzung der festliegenden Anlagen ist hierbei Bedingung, und diese zu ergründen ist eine nicht allzu schwere Rechnung.

Es wird also der Tarif einer derartigen elektrischen Güterkleinbahn höher sein müssen, als der Tarif für eine gleiche Frachtmenge auf der Hauptbahn, d. h. ungefähr das doppelte und er wird um 10 bis 20% geringer sein müssen, als der Fuhrwerksverkehr sie in der betreffenden Gegend eingeführt hat. Es kann alsdann die volkswirtschaftliche Bedeutung für Landwirtschaft und Industrie eine sehr beachtenswerte Rolle spielen, und diese um so mehr, je mehr man sich einmal an die Gepflogenheiten des Vollbahnverkehrs und anderseits an die Gewohnheiten des Rollwagenverkehrs anschmiegt.

Wie es möglich wird, vollspurige Hauptbahnwagen auf schmalspurige Unterschiebewagen aufzusetzen und zu befördern, lehrt uns die Praxis in vielen Fällen, wie z. B. die Schmalspurbahnen der Königlich sächsischen Staatsbahnen, die Forster Industriebahn, die Geraer Bahn u. s. w. Es ist also dieses Aufladen keine dem elektrischen Betrieb besonders eigene Methode, sie kann aber ohne weiteres vom elektrischen Betrieb übernommen werden, ohne irgendwie andere Verhältnisse zu schaffen, als sie die Dampfbahn uns gelehrt hat.

Auch das Umladen von Vollgütern in schmalspurige, motorisch angetriebene oder motorlose Fahrzeuge, findet seine Vorläufer in den Dampfkleinbahnen, und erfordern dieselben ebenfalls keine neuen Variationen.

Dagegen ändern sich die Verhältnisse, wenn die Steigungen der Kleinbahn grösser sind und trotzdem die Beförderung der normalspurigen Güterwagen erwünscht ist. Zu diesem Zwecke bedarf man bei der elektrischen Kleinbahn eigenartiger Betriebsmittel, wie sie in der Fig. 221 schematisch dargestellt sind.

Der bekannte Rollbockverkehr erfordert auf dem Güterbahnhof sehr lange Ausziehgleise, die in den seltensten Fällen wegen Raummangel gewährt werden können. Zum Verladen der Rollböcke ist eine Grube zwischen den Normalspurgleisen nötig, in welche das Schmalspurgleis auf geneigter Ebene hinabführt. Die Hauptbahngüterwagen werden über die Rollböcke geschoben und die letzteren aus der Grube herausgezogen, wobei sie sich selbstthätig beladen, indem sich die Achsen der Hauptbahnwagen in die auf den Rollböcken vorgesehenen Gabeln einlegen. Die Unterschiebewagen für motorische Gefährte und die Anpassung derselben an das elektrische Kleinbahnwesen hat den Zweck, den Bau von Verschiebegleisen zu vermeiden und Verschiebefahrten unnötig zu machen.

Grundsatz dieser Verladungs- und Beförderungsart ist der, dass immer nur ein Wagen allein befördert wird. Es kann sich also nicht um Züge handeln, wie beim Dampfbetriebe, vielmehr ist der Eigenart des elektrischen Betriebes Rechnung getragen, mit kleinen

Einheiten recht oft zu fahren, um Stations- und Leitungsanlage möglichst klein halten und gleichmässig ausnützen zu können.

Ein solcher motorisch angetriebener schmalspuriger Kleinbahnwagen, der imstande ist, einen normalspurigen Wagen auf seiner Plattform aufzunehmen, bedarf zur Übernahme, bezw. Übergabe der Vollgutwagen nur einer Stumpfgleisanlage, welche in einer etwa 50 *cm* hohen Rampe endet, wie dies die Figur zeigt. Gegen diese Rampe fährt der Kleinbahnwagen, sodass sich das Niveau der Plattform des letzteren mit der Schienenoberkante der Hauptbahn in gleicher Höhe befindet. Der Hauptbahnwagen kann demnach auf den Unterschiebewagen aufgeschoben werden, ohne dass Niveaudifferenzen zu überwinden wären.

Das Auf- und Abschieben des Hauptbahnwagens kann in der mannigfachsten Weise erfolgen. Neben der Möglichkeit, dies durch Menschenhand, mit animalischer Zugkraft oder mittels Kreisseiltrieben zu besorgen, kann auch durch eine elektromotorisch oder von Hand angetriebene Winde, die am Unterschiebewagen selbst befestigt oder, wie hier gezeichnet, neben dem Schmalspurgleis aufgestellt sein kann, die Verschiebung erfolgen. Hierfür ist es zweckmässig, die normalspurige Hauptbahnrampe vom Rampenkopf aus mit einem Gefälle von etwa 1 : 200 anzulegen. Der Unterschiebewagen zieht sich alsdann den aufzuladenden Hauptbahnwagen in die Höhe und auf den Unterschiebewagen auf. Auch der Abschub kann durch dasselbe Windwerk vorgenommen werden, indem das Zugseil oder die Zugkette am hinteren Wagenhaken befestigt wird. Sobald der Hauptbahnwagen alsdann die abfallende Rampe erreicht hat, läuft er von selbst ab, kann aber auch durch das Windwerk abgebremst werden.

Der Unterschiebewagen kann so konstruiert werden, dass seine sämtlichen Achsen motorisch angetrieben werden, wofür nur zwei Motoren erforderlich sind. Er ruht auf vier Achsen und zwischen je zwei Achsen befindet sich ein normal 20 PS leistender Elektromotor, welcher mittels Zahnradgetriebe eine Achse antreibt und in üblicher Weise im Drehgestell aufgehängt ist. Die Verbindung zwischen angetriebener Achse und Leerachse kann durch eine Kurbelstange erreicht werden. Jeder Motor kann im Maximum 35 PS auf kurze Zeit leisten. Der Hauptträger des Unterschiebewagens wird vermittelst eines Federzwischengliedes von den Achsschenkeln getragen. Die Federung ist sehr steif gehalten, um seitliche Schwankungen möglichst zu verhindern.

Schalter, Stromabnehmer u. s. w. können in einfachster Art am Wagen untergebracht werden und können, ebenso wie die Bremsung, von beiden Enden des Wagens aus bethätigt werden.

Die Bremsung geschieht durch acht klötzige Backenbremsen mit selbsthätigem Druckausgleich, sowie durch elektrische Schienenbremsen und durch Rückstromschaltung der Motoren in Fällen der Gefahr.

Die aufzuschiebenden normalspurigen Wagen stehen bei dem Transport auf der Kleinbahn etwa 50 *cm* über der Schienenoberkante der Kleinbahn.

Die Berechnung ergiebt, dass der Schwerpunkt des kombinierten Gefährten sich noch um ungefähr 50 *mm* tiefer befindet, als der Schwerpunkt des beladenen Güterwagens allein, was durch die infolge der schweren Motoren sehr tiefe Schwerpunktslage des Unterschiebewagens erreicht wird. Ein Vergleich mit dem Rollbockverkehr unter gleichen Verhältnissen ergiebt das überraschende Resultat, dass die Schwerpunktslage des motorisch angetriebenen Gefährtes immer noch 25 *mm* tiefer ist, als beim beladenen Rollbock, also in Bezug auf Stabilität noch günstiger ist.

Die Feststellung des aufgeschobenen Güterwagens erfolgt durch hölzerne mit Eisen beschlagene Klötze, welche vor die Räder gelegt werden; als Sicherheit beim Befahren von grossen Steigungen und gegen Bewegungen, welche durch Stösse und Erschütterungen hervorgerufen werden, sind an den mittleren Gurtungsblechen Ketten befestigt, von denen je zwei über jede Achse geschlungen werden und so eine Bewegung des Wagens unmöglich machen.

Eine besondere Sicherung gegen das Abkippen des Güterwagens braucht nicht vorgesehen werden, da die Stabilität desselben wegen der breiten Spur grösser ist, als die Stabilität des kombinierten Gefährtes.

Die Stromzuführung zu den Motoren erfolgt durch umsteckbare Stromabnehmer in Bügelform, welche während des Betriebes stets am hinteren Ende des Wagens angebracht werden.

Der Unterschiebewagen ist imstande, auf einer meterspurigen Bahn Kurven von 12 *m* Gleisachsen-Radius zu befahren.

Als Grundlage für Berechnung der Schienenbelastung, der statischen und dynamischen Berechnungen dienen die folgenden Zusammenstellungen:

Das Gesamtgewicht des Unterschiebewagens beträgt 8000 *kg*.

1 Güterwagen der Hauptbahn für 10 *t* Ladegewicht wiegt mit Bremse höchstens 9 *t*, beladen also 19 *t*.

Das kombinierte Gefährt, bestehend aus Kleinbahn-Unterschiebewagen und beladenem Hauptbahn-Güterwagen wiegt demnach 27 *t*.

Diese Belastung ergiebt einen Raddruck von $\frac{27}{8} = 3{,}375$ *t*.

1 Güterwagen der Hauptbahn für 15 *t* Ladegewicht wiegt mit

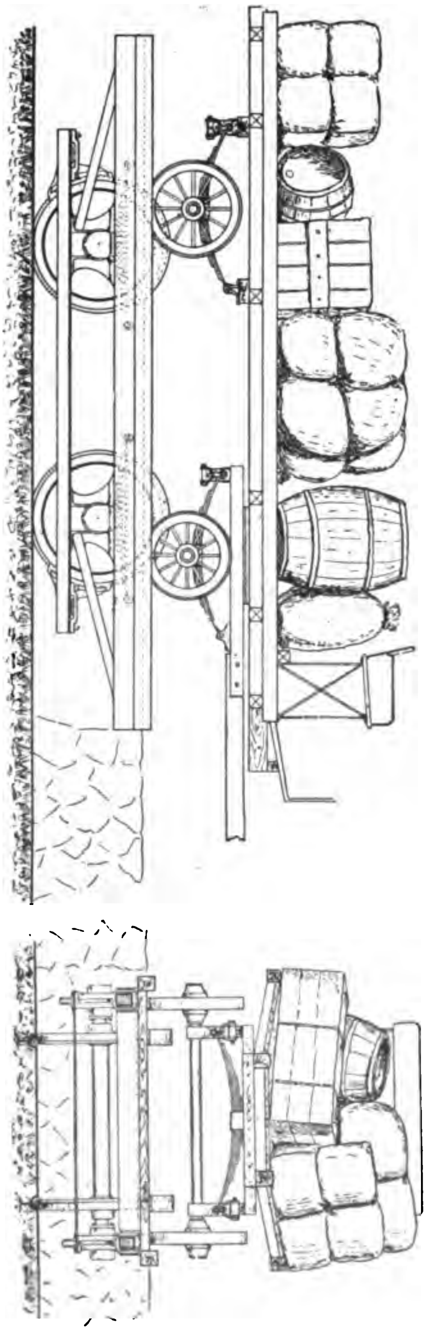


Fig. 222.

Bremse höchstens 9,85 *t*, sodass das Gesamtgewicht in diesem Falle

$$9{,}85 + 15 + 8 = 32{,}85\ t$$

beträgt. Der Raddruck erhöht sich hier auf $\frac{32{,}85}{8} = 4{,}106\ t$.

Übertragen wir nun noch die Fuhrwerks-Gewohnheiten auf den Kleinbahnbetrieb, und wollen wir die Gleisanlage an Stelle der Strasse und den motorischen Teil an Stelle der Pferde setzen, so müssen wir uns als Richtschnur für unser Vorgehen vergegenwärtigen, dass jedes Gut, sei es landwirtschaftliches, sei es Industrie-, sei es Kolonialgut und sei es schliesslich Rohstoff, mindestens einmal auf oder einmal abgeladen werden muss.

Jedes durch Rollverkehr behandelte Gut muss ausserdem nochmals auf- oder abgeladen werden. Wir brauchen daher nur zu vermeiden, dass es, um konkurrenzfähig zu sein, nicht noch ein drittes Mal umzuladen ist.

Diese Betrachtung führt dahin, den gewöhnlichen Rollwagen so lange und so weit auf dem Kleinbahnwagen zu befördern, als sich dessen Transport billiger stellt als durch Pferde. Darüber kann man sich nur von Fall zu Fall entscheiden.

Fig. 222 zeigt die technische Möglichkeit, einen Klein- und Grossgüterverkehr auch da zu bewältigen, wo die Kleinbahn nicht hinführt, d. h. wo deren

Zweiggleis aus wirtschaftlichen Gründen noch nicht durchführbar ist. Fährt daher das kombinierte Kleinbahngefährt gegen eine Rampe, von welcher der Rollwagen, ebenso wie ein Möbelwagen ohne Umladung von Kleinbahnwagen mittels Pferd abgefahren werden kann, so hat man wenigstens für die Kleinbahnstrecke den Pferdetransport gespart und der Kleinhahn eine bessere Ausnutzung ihrer Anlage gesichert.

Es ist hierbei nicht nötig, dass der Rollwagen irgend welche besonderen Konstruktionen aufweist. Ist aber der Rollverkehr identisch mit der Kleinbahn-Verwaltung, so wird es sich empfehlen, auch den Rollwagen symmetrisch zu bauen, d. h. dass man die Deichsel und die Zugpferde ebenso vorn wie hinten einspannen kann.

Es ergiebt sich im elektrischen Betrieb auch noch eine andere Möglichkeit, die Pferde ganz zu ersparen, wenn man den Rollwagen mit motorischer Einrichtung versieht, ihn also als Selbstfahrer ausbildet und ihm eine zweipolige Fahrdrahtleitung über den Strassen der Ortschaften bietet, sodass er auf allen Strassen und Gassen, wo irgend ein nennenswerter Warentransport stattfindet, hingelangen kann, ohne dass es nötig wäre, die in diesem Fall unwirtschaftlich erscheinende Anschlussgleisanlage zu verlegen.

Nun kann man schliesslich noch entgegenhalten, dass das tote Gewicht, bestehend aus Kleinbahnuntergestellen und Rollwagengewicht unnötige hohe Transportkosten im Gefolge hat. Indess kann hier nur die spezielle Rechnung, die Beachtung der örtlichen Verhältnisse und die Anschmiegung an die bisherigen Gewohnheiten ausschlaggebend für die Ausgestaltung des Gütertransportes auf Güterkleinbahnen beschriebener Art sein.

Aus dem Vorstehenden ist ersichtlich, dass die technische Möglichkeit gegeben ist, in die entlegendsten Stellen eines Industriegebietes mittels elektrischer Bahn- und Transportanlagen zu gelangen, wobei auch der wirtschaftliche Faktor sich günstiger gestaltet als bei den bisherigen Methoden.

Es können somit die Segnungen eines Bahnbetriebes dem Land, der Gross- und Kleinstadt, dem Gebirge und dem Fabrikhofe in gleich vollkommener Weise zu Gute kommen, wenn man den elektrischen Betrieb für alle diese Möglichkeiten ins Auge fasst.

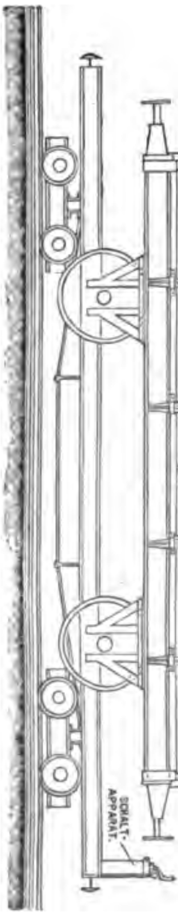
Noch mehr als sonst muss auch hier die schablonenhafte Projektierung ausser Acht bleiben, denn nur der schaffende Ingenieur, der die Verhältnisse der Praxis und der Technik gleich gut kennt, ist imstande, das Programm zu erfüllen, das der Überschrift dieser kurzen Skizze vorangestellt ist.

Wir können nach den zu registrierenden Ausführungen das Kapitel einteilen in:

1. Güterbahnen,
2. Grubenbahnen,
3. Wald- und Feldbahnen,
4. Kanalschleppbahnen.

1. Güterbahnen.

Bei diesen kommt es hauptsächlich darauf an, Güter zu- und abzuführen. Entweder werden die Güterwagen der normalspurigen Bahnen direkt ohne Umladung auf den meterspurigen Kleinbahnen mittels besonderer Drehschemel, wie Fig. 223, oder auf Unterschiebewagen mit oder ohne motorische Einrichtung, wie Fig. 224 zeigt, befördert und an die Verbrauchsstellen gebracht, ebenso wie umgekehrt die leeren Wagen der Hauptbahn wieder zugeführt werden, oder es sind Güter zu befördern, welche eine Umladung auf schmalspurige Wagen vertragen. Für diese müssen bei der schmalspurigen Abzweig-Kleinbahn entsprechende Güterwagen zur Verfügung gestellt werden können. Wenn man Plattformwagen gleichzeitig so



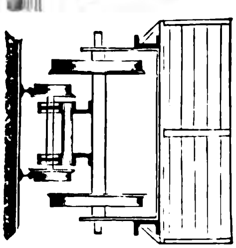


Fig. 224.

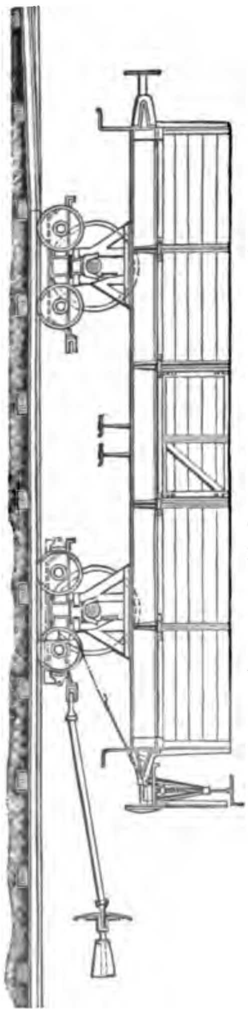


Fig. 223.



Fig. 225.

ausbildet, dass sie auch zum Transport gewöhnlicher Landfuhrwerke, eventuell mit Gespann, dienen können, wie Fig. 225 zeigt, so hat man Wagentypen geschaffen, welche in dem weitgehendsten Masse für die Rentabilität der Industriebahn ausgenützt werden können. Bei Dampfbahnen hat man bereits die schmalspurigen Rollböcke unter die Achse des normalspurigen Wagens geschoben und von der Dampflokomotive ziehen lassen. Der Elektromotor bietet aber die Annehmlichkeit, von einer besonderen Lokomotive unabhängig sein zu können und die Achsen des Unterschiebegefährtes direkt mittels Elektromotors anzutreiben, um zugleich die Adhäsion der beförderten Last bei der Kleinbahn so auszunutzen, dass Steigungen mit diesem Gefährt überwunden werden können, welche beim Dampfbetrieb ganz ausser Betracht kommen müssen. Diese Steigungen aber finden sich bei allen den Kleinbahnen vor, deren Lage so ist, dass die Hauptbahn wegen Terrainschwierigkeiten den betreffenden Ort nicht direkt berühren kann. Die Beladung der langen Kleinbahngüterwagen durch allerhand andere Gefährte stellt sich etwa so dar, wie der Möbelwagentransport ohne Umladung, und es ist eine Frage der Zeit, ob die Strassenfuhrwerke nicht von vornherein für diese Verladungsart geeigneter gemacht werden, als dies jetzt der Fall ist, wobei nicht behauptet werden soll, dass nicht auch schon die heutigen Strassenfuhrwerke für diese Umladung tauglich seien.

Oft kann durch diese Art der Güterbeförderung eine sonst auf grossen Umwegen fahrende Hauptbahn ihren Verkehr stellenweise durch eine passende Kleinbahn entlasten, da der, seine volle Adhäsion ausnutzende Kleinbahnwagen steile Strecken überwinden kann, die nahezu bis zur Adhäsionsgrenze reichen. Die durch die Praxis sowohl für die Berg- als für die Thalfahrt sich als brauchbar herausgestellt habende Steigung von 1 : 10 bildet also keine Schwierigkeit mehr, Güterwagen zu befördern. Befinden sich zwischen zwei Orten, die nicht direkten Bahnanschluss haben, schlechte oder bergige Landstrassen, auf denen die die Stückgüter befördernden Landfuhrwerke nur mit grossen Beschwerden fortkommen können, so lässt sich nach dem beschriebenen System der gesamte schwere Wagenverkehr ebenfalls auf diese Art bewerkstelligen. Die am Anfangsorte ausgespannten Pferde werden am Endpunkte der Kleinbahn wieder vor das Landfuhrwerk gespannt, um alsdann den Transport in üblicher Weise weiter zu besorgen. Es ist also eine derartige Kleinbahn vollständig in der Lage, den Bau einer Landstrasse zu erübrigen, was bei Erbauung der Kleinbahn für das Anlagekapital und im Betriebe für die Wirtschaftlichkeit der vielleicht sonst nur schwach oder gar nicht rentierenden Kleinbahnanlage in Betracht zu ziehen ist. Landstrassen sind im Bau bekanntlich recht teuer

und in der Unterhaltung nicht minder. Es erschliesst sich also für genannte Industriebahnen ein neues Feld, nicht zum mindesten dadurch, dass die Betriebsmittel die einfache und bewährte elektrische Betriebskraft vorsehen können. Die Schwerfälligkeit des Dampfbetriebes wird in solchen Fällen immer durch die Leichtigkeit des elektrischen Motorenbetriebes überflügelt werden und die weitere Ausnutzung der Stromerzeugungsstation zu anderen Zwecken d. h. Beleuchtung der anliegenden Ortschaften, Zuführung von Strom für ländliche Hausindustrie, zum Betrieb von Wasserwerken, Kanalisationspumpen, zum Antrieb landwirtschaftlicher Geräte u. dergl. wird stets

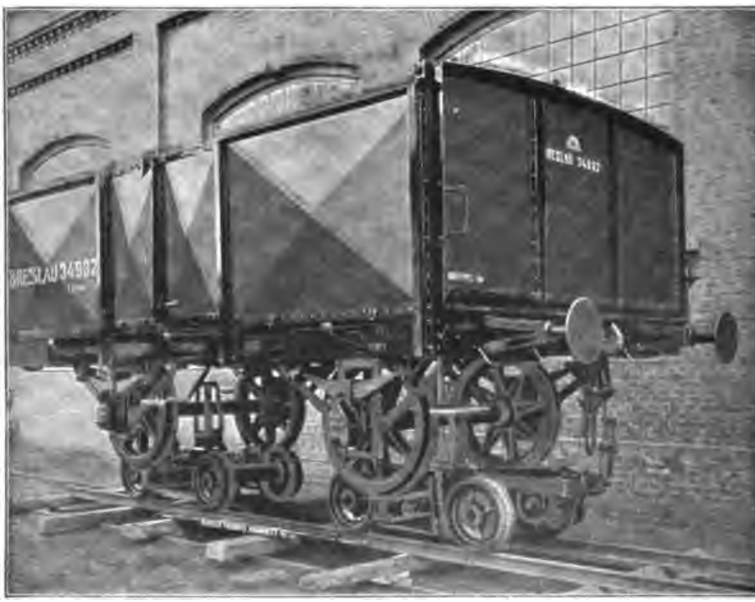


Fig. 226.

ein zu beachtender Faktor bei der Frage sein, ob elektrischer Güterbahnbetrieb für die betreffende Gegend als das rationellste und somit aussichtsreichste System zu betrachten sein wird.

In der Fig. 226 ist ein auf Rollböcken verladener Güterwagen in photographischer Darstellung, in Fig. 227 ein beladener Plattformwagen, gezogen von einem elektrischen Lokomotivwagen bildlich zur Anschauung gebracht.

Bei der Hannoverschen Strassenbahn sind auf den Aussenstrecken Gütergefährte in Betrieb (D. R. P. Krüger-Jürgens), welche sowohl den Schienenweg, als auch die gewöhnliche Strasse benutzen können. Für die Gleisfahrt wird die beim Pferdebetrieb

erforderliche vordere Drehachse festgestellt und vor und hinter die vier Laufräder besondere Spurräder herabgelassen. Für die Strassenfahrt sind die Spurräder in gehobener Stellung und die Vorderachse

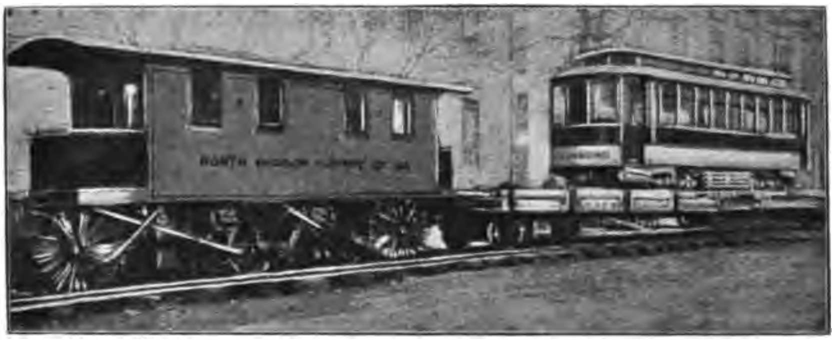


Fig. 227.



Fig. 228.

drehbar. Diese Wagen können also besondere Fabrikanschlussgleise entbehren, müssen indess stets als Anhängewagen benutzt werden. Jeder Wagen fasst 5 bis 6 *t* Ladung bei 2000 ℳ Anschaffungspreis.

Fig. 228 stellt einen elektrisch betriebenen Gütermotorwagen

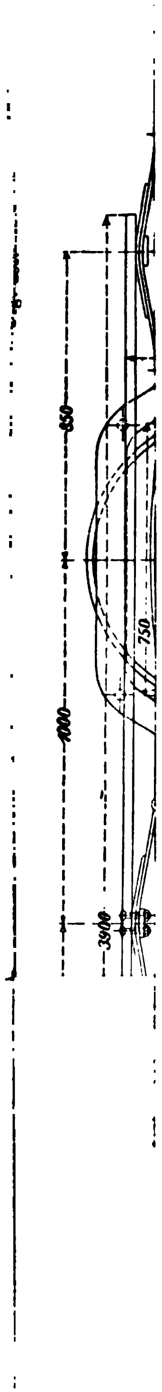
amerikanischer Konstruktion dar. Derselbe ist für Umladestückgut eingerichtet und mit Thomson-Houston-Ausrüstung (Union-Berlin) versehen.

Einen Plattformwagen für 2500 *kg* Ladegewicht zur Beförderung von Zuckersäcken aus den Speichern der Baltimore-Zucker-Raffinerie in die Raffinerie stellt Fig. 229 dar. Fig. 230 zeigt eine, von Gebr. Körting gebaute und zwischen deren Fabriken verkehrende Materialtransportlokomotive.



Fig. 229.

Für die Erdmassenbewegung grösserer Bauten ist die nachfolgende Lokomotive von Ganz & Co. (Fig. 231), Budapest, gebaut worden. Dieselbe ist niedrig, um auch in Gruben Verwendung finden zu können. Sie hat eine Spurweite von 633 *mm* und ist mit einer elektromotorischen Kraft von 50 PS ausgerüstet. Das Gewicht der Lokomotive beträgt 8 *t*. (Vergl. Z. d. V. d. Ing. 1900, Heft 12, S. 378 ff.)



Achslagern, welche, ähnlich wie die Staatsbahnwagen, mit herunter-

f
v
z
e
I
S. 378 ff.)

Die von der A.-G. Elektrizitätswerke (vorm. O. L. Kummer & Co.), Dresden und Niedersedlitz, erbaute elektrische Bahn Bad Aibling—Feilnbach (Bahn zum Wendelstein) zeichnet sich durch einen recht lebhaften Güterverkehr aus. Derselbe wird hauptsächlich durch die Güterwagen der Staatsbahn vermittelt, die als Anhängewagen befördert werden. Für den lokalen Verkehr sind jedoch Gütermotorwagen bestimmt, deren Einrichtung hier durch Zeichnungen veranschaulicht wird.

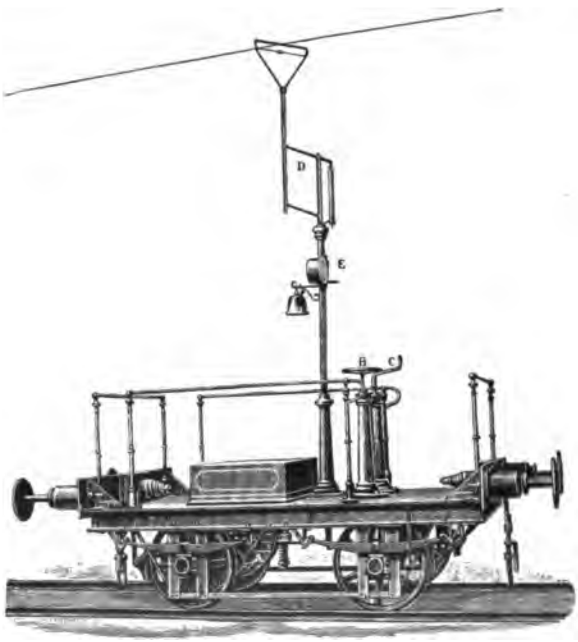


Fig. 230.

Die Fig. 232 und 233 geben Seiten- und Stirnansicht des Wagens mit teilweisen Schnitten. Er besitzt eine Ladefähigkeit von 5 *t* und ist mit zwei Motoren ausgerüstet, die je 25 PS normal, 35 PS maximal leisten.

Die Aufhängung der Motoren ist aus Fig. 234 ersichtlich.

Das Untergestell, wie dasselbe Fig. 235 zeigt, besteht aus einem oberen und einem unteren Gurt aus starkem L-Eisen mit entsprechenden Verbindungen, die in der Mitte und an den Achsengabeln zu einem starken aber leichten Träger vereinigt sind, welche wiederum durch Querverbindungen den Hauptrahmen bilden.

Das Untergestell ruht mittels vier Fischbauchfedern auf den Achslagern, welche, ähnlich wie die Staatsbahnwagen, mit herunter-

klappbarem Revisionsdeckel, äusserem Öleinguss und innerem Saugfänger versehen sind. Die 95 *mm* starken Achsen sind aus Nickelstahl, die Radsterne aus Schmiedeeisen mit warm aufgezogenen Stahlbandagen.

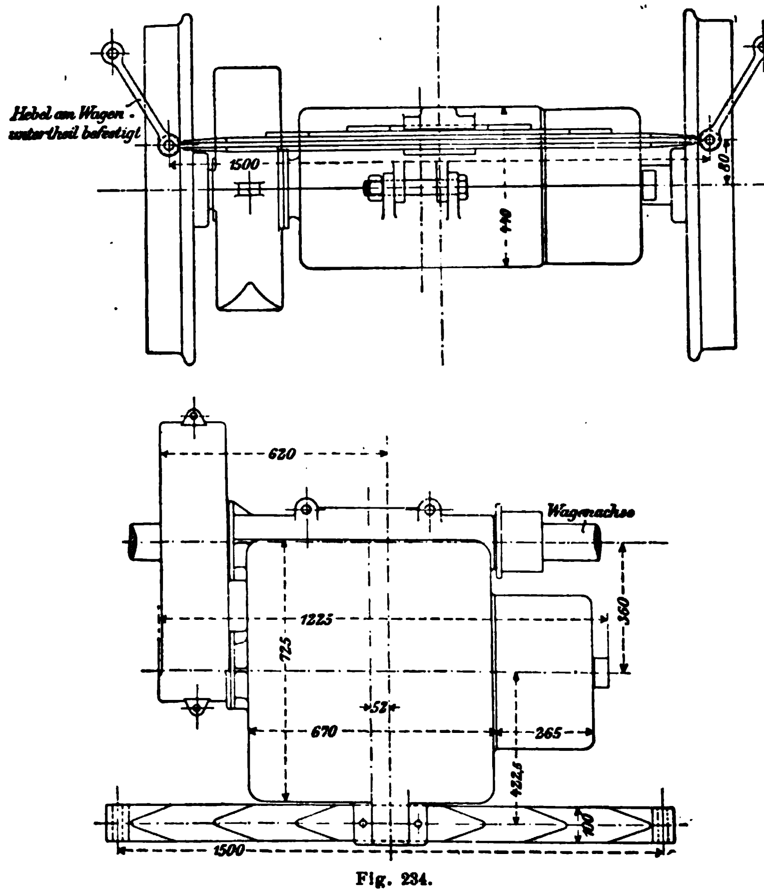


Fig. 234.

Auf den oberen Gurt der Seitenrahmen sind auf jeder Seite drei, zusammen also sechs, Fischbauchfedern montiert, welche unter Vermittelung einer Flachschiene den Wagenkasten tragen.

Durch diese Anordnung wird eine doppelte, äusserst wirksame Federung erzielt.

Als Stromabnehmer dient eine auf einer Kontaktstange gelagerte Rolle. Erstere ist in der üblichen Weise federnd und drehbar auf dem Wagendach befestigt. Die Federn sind so bemessen, dass die

Rolle mit einem Druck von rund 5 *kg* gegen den Fahrdraht gedrückt wird.

Bemerkenswert ist schliesslich die Konstruktion der Zughaken. Diese sind nämlich nicht an durchgehenden federnden Zugstangen befestigt, sondern in der Mitte einer in der Querrichtung des Wagens zwischen zwei Hölzern gelagerten, gebogenen Blattfedern, deren Enden als Pufferfedern dienen.

In Fig. 236 ist die Abbildung eines fahrbaren Kranes für elektrische Bahnen, wie er von den Baldwin Locomotive Works zusammen mit den Westinghouse Co. ausgeführt wird, gezeigt. Derselbe hat den Zweck, auf Vollbahnen, welche für elektrischen Betrieb eingerichtet sind, zu Hebearbeiten verwendet zu werden und ist demgemäss mit einem schweren Lokomotivuntergestell, welches

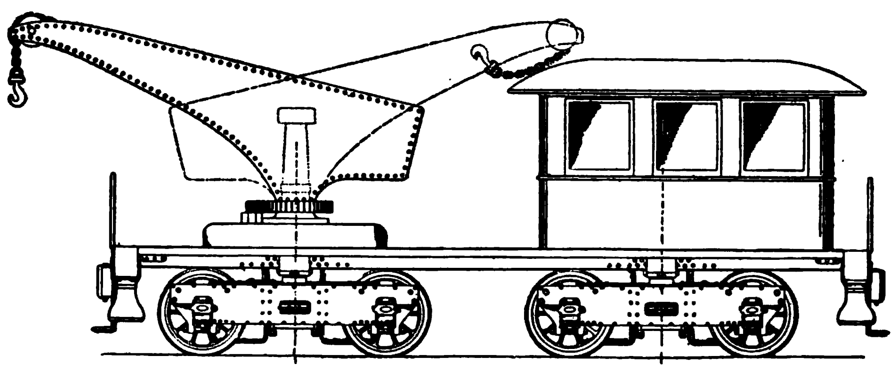


Fig. 236.

auf zwei Drehgestellen steht, ausgerüstet. Jedes Drehgestell ist mit Motoren von 50—200 PS versehen. Der Kran selbst, welcher mit einem kleinen Wärterhause auf die Plattform gesetzt ist, wird durch elektrischen Antrieb bewegt.

Für Dampfbahnen kann ein solcher Kran ebenfalls Verwendung finden, wenn er mit einer entsprechenden Akkumulatorenbatterie ausgestattet wird. Diese Batterie müsste in den Werkstätten geladen werden. Der Kran, der gewöhnlich in den Werkstätten zum Heben und Befördern von Lasten benutzt werden kann, ist sofort ausrückfähig, wenn er auf der Strecke gebraucht werden soll.

2. Grubenbahnen.

Die Güterlokomotiven, welche übertage arbeiten, lassen sich in den meisten Fällen auch für Gruben verwenden und müssen allerdings zu diesem Zwecke besonders niedrig gebaut werden.

Es ist kein Zufall, dass die Elektrizität zur Bewegung von Güterwagen zuerst im Bergwerksbetriebe Anwendung gefunden hat, denn hier sind die Schwierigkeiten, welche die Erzeugung und Fortleitung einer nutzbaren Kraft verursachen, derartige, dass an ihrer Stelle meistens die erheblich teuere Menschen- und Pferdekraft treten musste. Gerade im Bergbau kommen die Vorzüge der elektrischen Kraft in hohem Masse zur Geltung: Motoren und Leitungen beanspruchen ein Mindestmass an Raum und Unterhaltung und sind sehr widerstandsfähig gegen äussere Einflüsse. Die Motoren selbst laufen, sofern keine Schlagwetter in Frage kommen, ohne die geringste Gefahr und Belästigung, sind leicht zu bedienen, und selbst bei grösserer Entfernung der Kraftquelle von der Verwendungsstelle tritt keine wesentliche Erhöhung der Betriebskosten ein.

Die erste elektrische Grubeneisenbahn, erbaut von Siemens & Halske, wurde im Oppelschachte des Königl. Steinkohlenbergwerkes zu Zaukerode im Herbst 1882 in Betrieb gesetzt. Fig. 237 zeigt diese Kohlenbahn im Schema. An der Decke des Querschlages sind in der Mitte desselben zwei ⊥-Eisen isoliert entlang geführt, welche den Strom zur Lokomotive leiten.

Die Lokomotive entnimmt den ⊥-Eisen den elektrischen Strom mittels Kontaktschlitten, welche die Schienen seitlich mit Haken umfassen und sich durch Blattfedern gegen die Schienenunterseite legen. An beiden Enden der äusserlich ganz symmetrisch gebauten Lokomotive befindet sich der Sitz für den Führer.

Die Lokomotive, deren Gewicht 1,6 *t* beträgt, vermag Züge von 15 vollen und 15 leeren Wagen mit einer Geschwindigkeit von 2,25 bis 3 *m* in der Sekunde zu ziehen. Die Länge der Lokomotive zwischen den Puffern beträgt 2,43 *m*, die Breite 0,8 *m*, die Höhe, einschliesslich aufgesteckter Hülse 1,5 *m*.

Der Betrieb wird von zwei Lokomotiven geführt, welche im Durchschnitt täglich 700—800 Wagen fortzuschaffen haben.

Die auf der Gewerkschaft Neu-Stassfurt im Betrieb befindlichen vier Grubenlokomotiven sind im wesentlichen der Zaukeroder Lokomotive ähnlich gebaut. Das Gewicht jeder Lokomotive beträgt 2174 *kg*, ihre Zugkraft schwankt, der Reibung auf den Schienen entsprechend, zwischen 180 und 500 *kg*. Die Lokomotive ist 930 *mm* breit, 1500 *mm* hoch und zwischen den Puffern 2670 *mm* lang; der Achsstand beträgt 480 *mm*, die Spurweite 628 *mm* und der Durchmesser der Triebräder 350 *mm*. Die Lokomotiven werden nicht gedreht, sondern mit Weichen übersetzt. Der aus 17 Wagen bestehende Zug, dessen Bruttogewicht etwa 20 *t* beträgt, wird mit 11 *km* Geschwindigkeit in der Stunde bewegt (Fig. 238).

Auf dem Steinkohlenbergwerk Cons. Paulus-Hohenzollerngrube bei Beuthen in Oberschlesien sind auf der im Jahre 1883 von Siemens & Halske gebauten Grubenbahn vier Lokomotiven in Betrieb, von denen die drei ersten bei einem Gewicht von je



Fig. 288.

2125 *kg* 500000 *kg* Nettolast in 10-stündigem Betrieb mit 3 *m*/Sek. Geschwindigkeit befördern. Die vierte schwerere Lokomotive ist vor einigen Jahren hinzugekommen.

Die Förderkosten stellen sich bei diesen drei Bahnen, die früher

durch Menschen- bezw. Pferdekraft betrieben wurden, seit Einführung des elektrischen Betriebes erheblich geringer, wie nachstehende Tabelle lehrt.

	Zaukerode	Stassfurt	Hohenzollern
Durchschnittliche Förderstrecke in *m* . .	720	800	756
Grösste Wagenzahl für eine Schicht . .	400	400	900
Nutzlast des Wagens in *kg*	475	800	550
Tonnenkilometer eines Wagens	0,342	0,64	0,406
Förderkosten für einen Wagen in Pfg. .	3,14	8,28	2,73
Davon entfallen auf:			
das Personal	1,11	3,10	0,61
Kohlen für Betriebsdampf	0,34	1,79	0,22
Zinsen und Amortisation 15 % . . .	1,02	2,49	1,38
Unterhaltungs- und Erneuerungskosten	0,67	0,90	0,52
Förderkosten für ein Tonnenkilometer in Pfg.	9,19	12,93	6,74
Förderkosten für ein Tonnenkilometer bei Verwendung von Menschenkraft in Pfg.	21	34,2	18
Kosten-Verhältnis der elektrischen Förderung zu derjenigen durch Menschen .	0,44	0,38	0,37
Förderkosten für ein Tonnenkilometer bei Verwendung von Pferdezugkraft in Pfg.	12,2	16	10
Kosten-Verhältnis der elektrischen Förderung zu derjenigen durch Pferde . .	0,75	0,75	0,67

Siemens & Halske'sche Lokomotiven neuerer Bauart sind auf der Kupfermine Ashio in Japan, im Kübeckschacht bei Alt-Kladno in Österreich und im Kaptens- und Hertigen-Stollen bei Gelliware in Norwegen im Betrieb.

Die nun folgenden Konstruktionen zeigen das Bestreben, bei möglichst geringer Konstruktionshöhe und Breite starke Gefährte herzustellen. In Fig. 239 ist eine elektrische Doppellokomotive von 50 PS für Grubenbetrieb dargestellt. Die Spurweite für dieses Gefährt ist 790 *mm*. Gebaut ist diese Lokomotive von Ganz & Co.-Budapest für die Salgó Tarjáner Steinkohlen-Bergbau-Ges. Pálfalvar.

Im Herbst des Jahres 1885 ist in Halle für die Zuckerfabrik Körbisdorf eine Güterbahn gebaut, die zum Transport von Braunkohlen von der Grube Otto in das Kesselhaus der Fabrik dient und als erste ihrer Art Drehstrom zum Betriebe benutzt. Die Kohlen werden in Hunte verladen, und je 12 dieser Wagen können von einer elektrischen Lokomotive befördert werden. Die Länge der Strecke beträgt 750 *m*. Der Dreiphasen-Betriebsstrom von 500 Volt verketteter Spannung wird der elektrischen Kraftstation der Fabrik entnommen und oberirdisch mittels dreier blanker Hartkupferdrähte zugeführt.

Eine von der Union Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin gebaute Grubenlokomotive von 12 PS eff. Leistung ist in Fig. 240

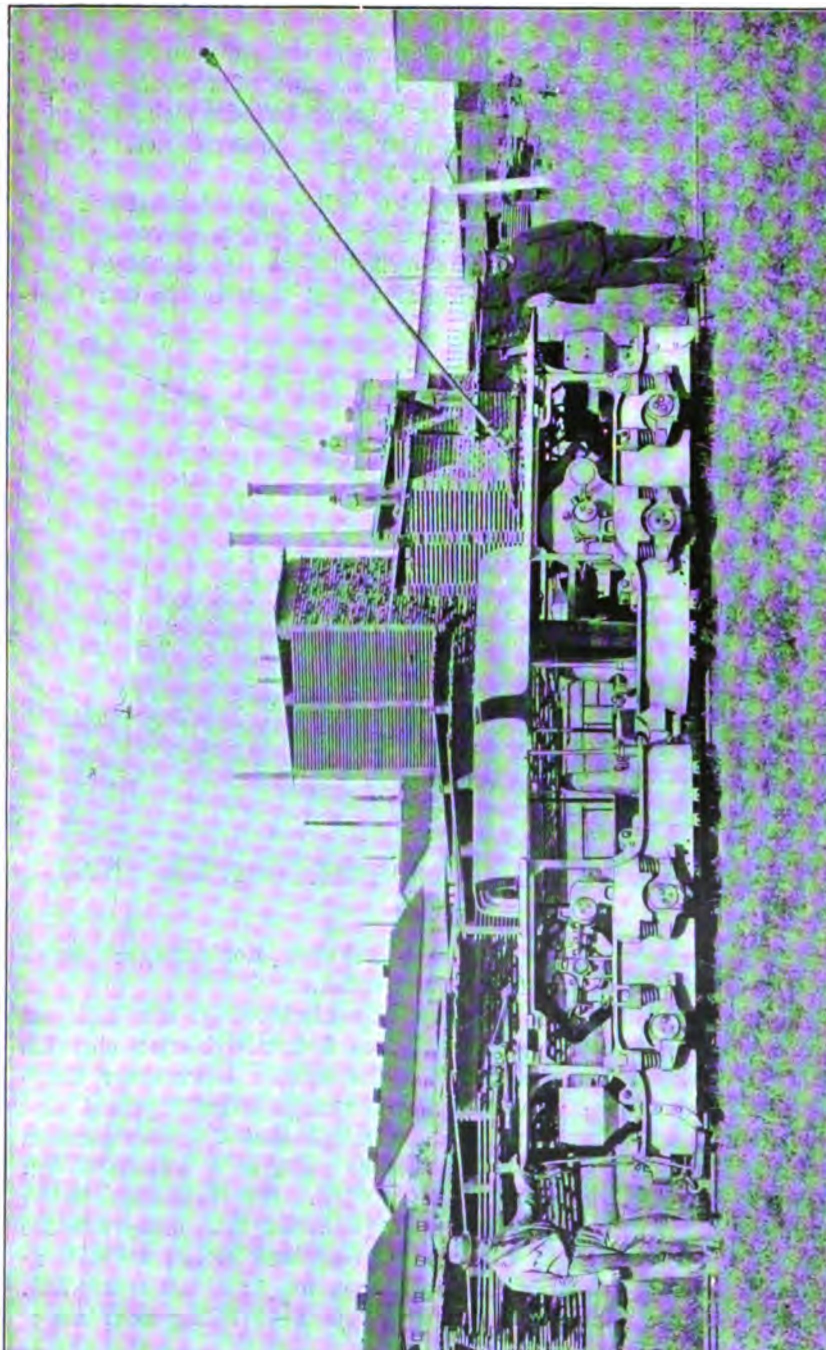


Fig. 280.

dargestellt. Dieselbe ist für eine Spurweite von 460 *mm* konstruiert. Es ist bei dieser Anordnung besonders auf eine ganz niedrige Bauart Rücksicht genommen worden. Der Schalter befindet sich horizontal auf der Lokomotive und der Führer sitzt äusserst tief. (Vergl. Z. d. V. d. Ing. 1900, Heft 12, S. 380.)

Die Baldwin-Lokomotivwerke haben gemeinschaftlich mit der Westinghouse Electric Co. elektrische Bergwerkslokomotiven, welche die Transporte in den amerikanischen Querschlägen vermitteln, konstruiert. In Nord-Amerika liegt meistens in den Quer-

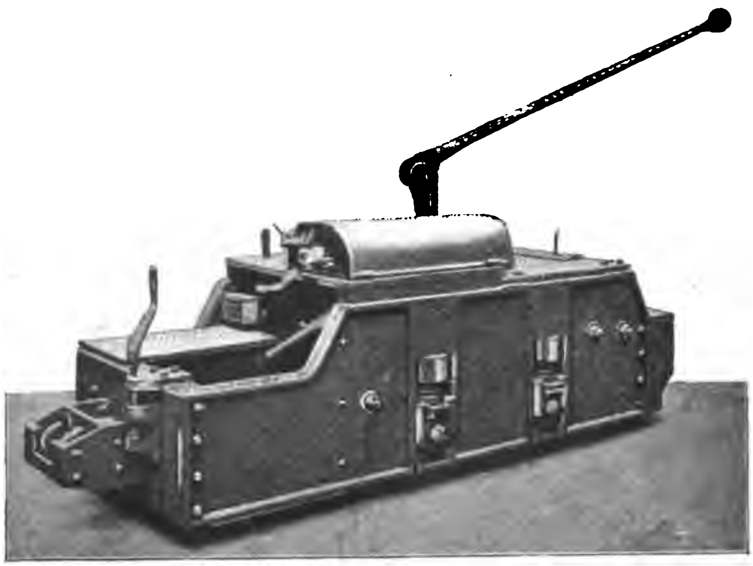


Fig. 240.

schlägen Normalspur, auf welcher schwere Kohlenwagen durch kräftige Tenderlokomotiven gezogen werden.

Um die Rauchplage und die Verschlechterung der Luft zu vermeiden, führte man den elektrischen Lokomotivbetrieb ein; die Baldwin-Werke haben eine ganze Reihe solcher elektrischer Bergwerkslokomotiven von verschiedener Leistungsfähigkeit gebaut und verkaufen sie zu demselben Preise wie Dampflokomotiven der gleichen Stärke. Eine an die Crozer Coal & Coke Co. in Elkhorn W. Va. gelieferte Lokomotive leistet z. B. 200 PS. Die Maschinen haben drei gekuppelte Achsen, wiegen 20 *t* (während eine entsprechende Dampflokomotive etwa 25 *t* wiegen würde) und ziehen 40 Kohlenwagen von je $4^1/_2$ *t* Gewicht auf Steigungen bis 1 : 50 mit 10 *km*/Std. Geschwindigkeit. Am Zughaken üben sie 4—5 *t* Zug aus; wobei

natürlich Sandstreuung auf den feuchten Schienen benutzt wird, da sie sonst nur die Hälfte ziehen könnten.

Weitere Grössenangaben sind: kleinster Kurvenradius 18 *m*, Schienengewicht 20 *kg/m*, Spurweite 1,12 *m*, also unter Normalspur, geringste Querschlagweite für eingleisige Spur unten 3 *m*, oben 2,4 *m* bei 2,1 *m* Höhe über Schienen, Lokomotivbreite 1,88 *m*, Höhe 1,68 *m*, Länge $5^1/_2$ *m*, Raddurchmesser 838 *mm*, Radstand 1,83 *m*. Auf dem Rahmengestell ruhen zwei Elektromotoren von je 100 PS bei 500 Volt Spannung, von welchen die Kraft durch Radübersetzung auf die drei gekuppelten Achsen übertragen wird. Ferner sind die Lokomotiven mit zwei grossen elektrischen Kopflaternen und kräftiger Bremse versehen. Der Strom wird oberirdisch durch zwei Kontaktrollen zugeführt.

Bei elektrisch betriebenen Materialbahnen, Gruben- und Waldbahnen ist es möglich, ohne jedwede Stromerzeugungsstation auszukommen, wenn das Terrain mit ständigen oder zeitweisen grossen Niveaudifferenzen versehen ist. Der thalwärts fahrende Wagen erzeugt bekanntlich durch seine als Dynamo arbeitenden Motoren bei einem angenommenen Nutzeffekt von 50% etwa halb soviel Strom, als der bergwärtsfahrende Wagen verbrauchen würde. Um es nun zu ermöglichen, dass der thalwärts fahrende Wagen genau soviel Strom erzeugt und in die an Stelle des Seiles tretende elektrische Stromleitung entsendet, als der bergwärts fahrende Wagen nötig hat, ist es erforderlich, den ersteren Wagen mit soviel toter Last ablaufen zu lassen, dass bei einem Nutzeffekt von 50% des thalwärts fahrenden Wagens derselbe doppelt so schwer wird, als der bergwärts fahrende. Alsdann wird genügend Strom vorhanden sein, um den bergan fahrenden Wagen in Betrieb zu erhalten. Einen durch den Zufall eintretenden Kraftüberschuss kann man alsdann noch in Akkumulatorenbatterien aufspeichern, eventuell auch spärliche Wasserkräfte zur ständigen Ladung von solchen Puffer- und Sammlerbatterien benutzen. Für den nutzbaren Ballast bieten z. B. Gebirgsbahnen stets genügend Material. Entweder es kann auf dem Berge Wasser benutzt werden, den Wagen mit einem entsprechenden Übergewicht zu versehen oder man kann Produkte des Berges, als Steine, Holz u. s. w. verwenden, um besonders anzuhängende Güterwagen damit zu belasten, deren Abtrieb selbstverständlich in demselben Sinne wirken wird, wie der Motorwagen selbst, der durch künstlichen Ballast beschwert ist. Man kommt daher zu dem Resultat, dass Bahnen mit thalwärts zu schaffender grosser Güterlast und bergwärts zu bewegender kleiner Last ohne Kosten einer Kraftstation möglich sind.

3. Wald- und Feldbahnen.

Eng verwandt mit den Grubenbahnen sind betreffs ihrer Betriebsmittel die Wald- und Feldbahnen, um deren Ausbildung sich besonders die Firma Arthur Koppel, Berlin, verdient gemacht hat.

Der Stromzuführungsbau ist freilich ein gänzlich anderer, da er meist nur für fliegende Anlagen eingerichtet sein wird. Die Strom-

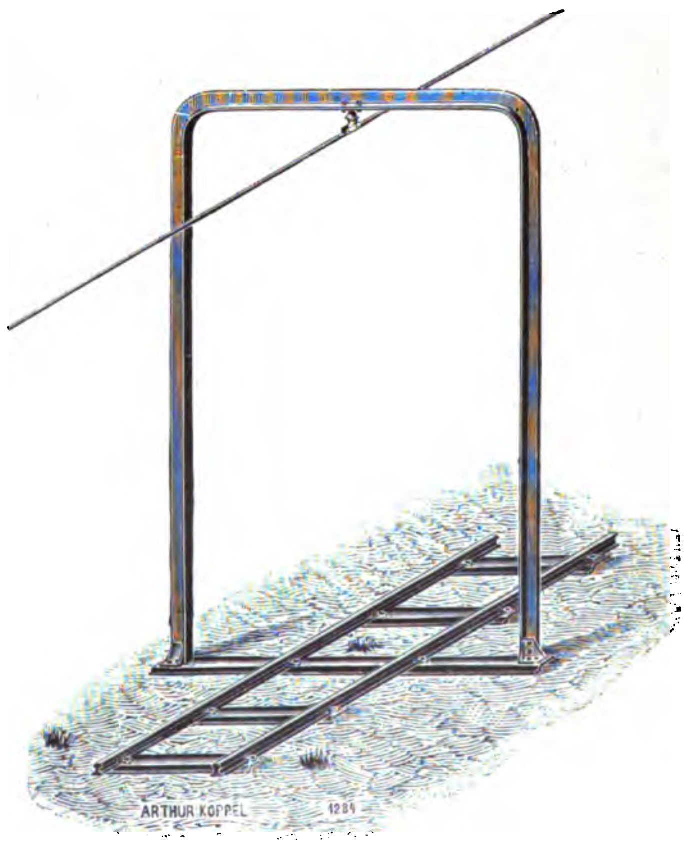


Fig. 241.

leitungsanlagen müssen schnell und einfach verlegbar sein, um eventl. nach kurzer Zeit an einem anderen Ort aufgestellt werden zu können.

Der elektrische Betrieb hat gegenüber einem Dampf- oder Pferdebetrieb auch hier wieder seine besonderen Vorzüge. Die bei der Dampflokomotive immerhin in Betracht kommende Feuersgefahr durch Sprühfunken der Lokomotive ist bei einer elektrischen Wald- und Feldbahn gänzlich ausgeschlossen. Die Ersparnis am Bedienungs-

personal, welche z. B. in der Landwirtschaft heutzutage eine grosse Rolle spielt, ist ebenfalls ein Vorzug des elektrischen Betriebes. Das Pferd kann bekanntlich vom Elektromotor stets dann verdrängt werden, wenn letzterer auf Schienenwegen in Betrieb kommt.

Die dem Koppel'schen Feldbahnensystem eigentümlichen Anordnungen bestehen in dem sogenannten Leitungsjoch, dem Fahr-

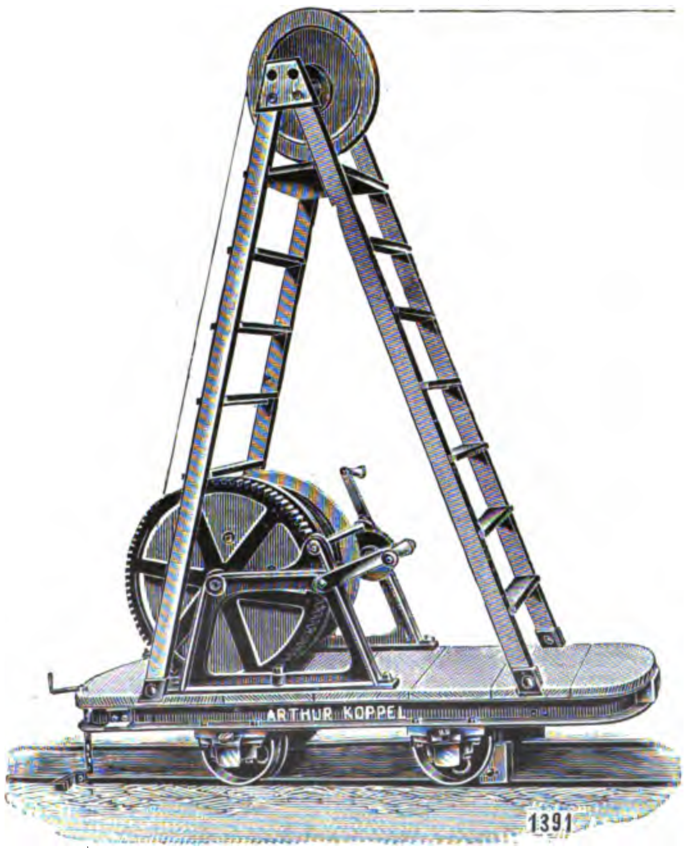


Fig. 242.

draht-Spannwagen und den Masten zum Aufbau der Stromleitungen von der Strom erzeugenden Station nach der Bahnstrecke.

Das Wesentliche dieser unter Patentschutz stehenden Koppel'schen Konstruktionen besteht in der Verbindung der Gleisrahmen mit den Leitungsträgern in ein transportables Ganze, das sogenannte »Leitungsjoch» (Fig. 241), dessen V-förmiger Träger auf einer verlängerten Schwelle des Gleisrahmens befestigt ist. Die Entfernung

der Leitungsjoche ist auf geraden Strecken 25 bis 30 *m*. Nur in Kurven mit kleinem Radius wird jeder Gleisrahmen als Leitungsjoch ausgebildet, damit der Fahrdraht der Mittellinie der Trace einigermassen folgen kann. Das Gewicht der Leitungsjoche beträgt etwa 70 *kg* mehr, als das der gewöhnlichen Gleisrahmen. Im übrigen werden auch zur elektrischen Feldbahn die normalen, sonst gebräuchlichen Gleisrahmen mit Schienen von 65 bis 70 *mm* Höhe verwendet. Bei vorhandenen Anlagen können daher die Gleise ohne weiteres für elektrischen Betrieb eingerichtet werden. Die Höhe des Fahrdrahtes über Schienenoberkante beträgt 3 bis 4 *m*, je nach dem herrschenden Bedürfnis.

Zum Verlegen und Spannen des Fahrdrahtes benutzt Koppel einen Montagewagen, wie derselbe in Fig. 242 dargestellt ist. Derselbe besteht aus einem einfachen zweiachsigen Plateauwagen mit Montageleiter, Kupferdrahthaspel und Spannvorrichtung und wird an den Schienen verankert. Das freie Ende des Fahrdrahtes ist über eine Rolle an der Spitze der Leiter geführt. Soll die Fahrdrahtleitung verlegt werden, so wird der Montagewagen hinter das erste Leitungsjoch geschoben, auf den Schienen verankert und der von der Haspel abgewickelte Kupferdraht mit Hilfe des Flaschenzuges angezogen und am Leitungsjoch befestigt. Die in dem Kupferdraht erzeugte Zugspannung wird durch eine zweite tragbare Montageleiter, welche gleichfalls eine Spannvorrichtung besitzt und verankert werden kann, aufgenommen, sodass der nunmehr entlastete Montagewagen hinter das zweite Leitungsjoch geschoben werden kann, wo sich der geschilderte Vorgang wiederholt.

Durch die Spannung der Fahrdrahtleitung erhalten die Leitungsjoche erst die erforderliche Standfestigkeit, sodass ohne das obige Montageverfahren die Verwendung der leichten, auf Schwellen befestigten Träger unmöglich wäre. Das geringe Gewicht der Leitungsjoche und der Fortfall sämtlicher Erdarbeiten, welche etwa zum Einrammen der Maste erforderlich wären, bewirken eine Verbilligung der Anlage- und Montagekosten. Im Bedarfsfalle kann das Joch in Richtung der Gleisachse noch durch Spanndrähte an den nächstliegenden Schwellen gegen Umbiegen gesichert werden.

Bei stationären Feldbahnen endigt die Fahrleitung an einem, mit Erdschrauben verankerten Pikettpfahl; auf transportablen Strecken dagegen bleibt der Montagewagen am jeweiligen Endpunkte in verankertem Zustande stehen, um bei Verlängerung der Bahn eine neue Leitungslänge abzuwickeln oder zwecks Verlegung der Gleise die abgerollte Leitungslänge wieder aufrollen zu können.

Der erstere Fall spielt eine grosse Rolle bei der Anlage neuer Wege, auf welchen der Transport bis zum jeweiligen Endpunkte

weitergeführt werden soll und ist daher besonders geeignet zur Bruchabfuhr bei Tunnelbauten, mit deren Fortschreiten gleichzeitig eine Verlängerung der Bahnstrecke notwendig wird.

Der Stromübergang zwischen dem Fahrdraht nach dem Gleis wird verhindert, wenn Haspel und Leiter aus trockenem, imprägniertem

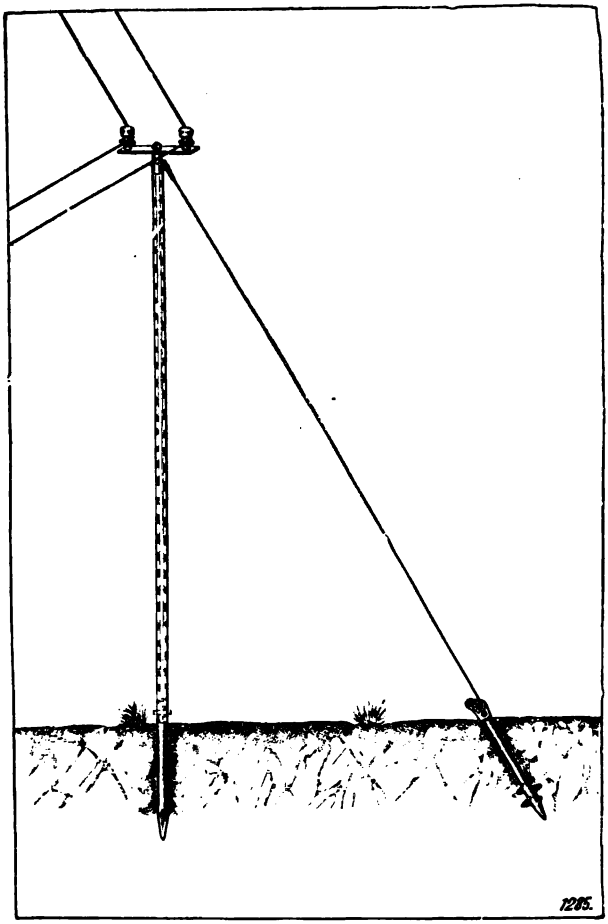


Fig. 243.

Holz hergestellt und durch einen isolirenden, wasserdichten Plan gegen das Eindringen von Nässe, sowie gegen Berührung durch Menschenhand geschützt werden.

Die hier beschriebene Fahrdrahtverlegung erfolgt ohne Zuhilfenahme von Pferden, wie dies sonst für schnellen Leitungsbau unerlässlich ist.

Für die Verlegung von fliegenden, oberirdischen, blanken Speiseleitungen wendet Koppel die in Fig. 243 und 244 dargestellten Masten an, von denen die erstere Anordnung für Kurven und die letztere für die geraden Strecken benutzt wird.

Die gebräuchlichste Form der zweiachsigen elektrischen Lokomotiven ist in Fig. 245 dargestellt. Sie besitzt je nach der verlangten Leistung zwei oder einen Motor. Die Motoren hängen in der üblichen Weise an den Radachsen und sind gegen das Wagenuntergestell abgefedert, wodurch sowohl ein stossfreies Anfahren als auch denkbar grösste Schonung der Motoren gewährleistet wird. Die Motoren sind wasser- und staubdicht eingekapselt. Die Übertragung von der Motorwelle auf die Triebachse geschieht durch einfaches gefrästes Zahnradvorgelege aus Stahlguss, welches in gusseisernem Schutzkasten ebenfalls wasser- und staubdicht eingeschlossen ist. Bei Anwendung von nur einem Motor erfolgt der Antrieb auf die eine Achse wie gewöhnlich durch ein Stirnräderpaar und von dieser auf die andere Achse durch Pleuelstangen. Das Untergestell ist aus Profileisen hergestellt und besitzt federnde Lagerung, sowie federnde Zug- und Puffervorrichtung. Die Lokomotive ist mit einer schnell und kräftig wirkenden Handhebelbremse ausgerüstet. Der Schalter gestattet in jeder Fahrtrichtung sieben Geschwindigkeitsabstufungen. Unter der Holzbank befindet sich der Anlasswiderstand. welcher bei den ersten Kurbelstellungen des Kontrollers den Motoren vorgeschaltet ist und dadurch ein sanftes Anfahren bewirkt. In der

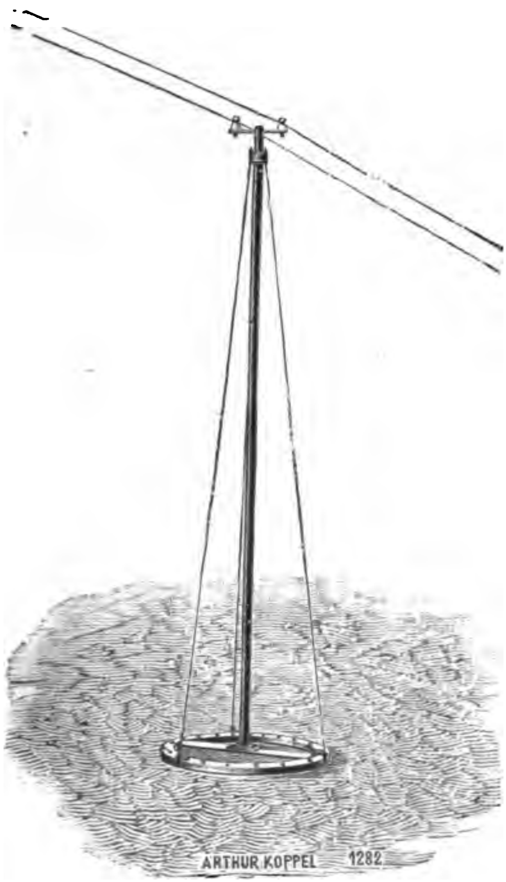


Fig. 244.

Leitung innerhalb der Lokomotive befindet sich eine Sicherung, welche eine schädliche Überlastung der Motoren verhindert. Die Stellung des Führers ist eine seitliche, sodass er beide Fahrtrichtungen übersehen kann, ohne seinen Standort zu wechseln. Eine in Fig. 246 dargestellte transportable elektrische Feldbahn war auf der Wanderausstellung der deutschen Landwirtschaftsgesellschaft in Hamburg im Juni 1897 im Betriebe zu besichtigen.

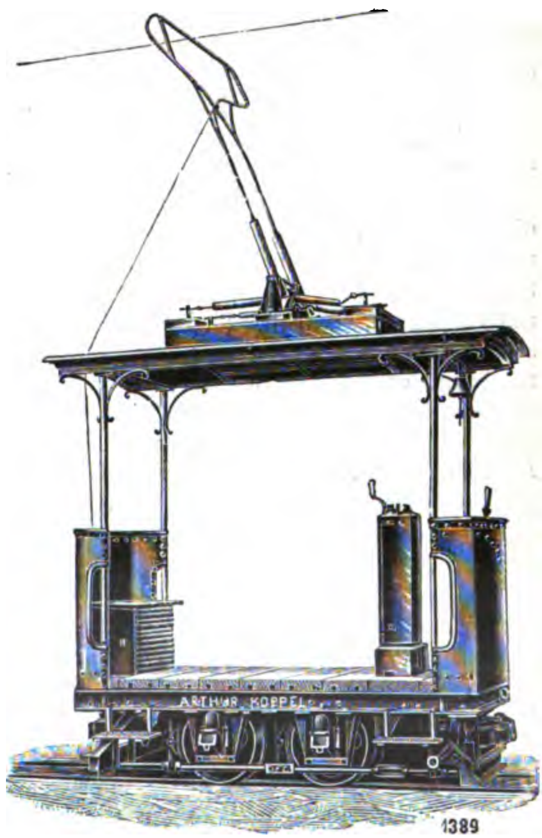


Fig. 245.

Über die von Koppel im Herbst 1897 gebaute elektrische Rübentransportbahn der Zuckerfabrik »Groenendijk« in Holland berichtet Dr. Julius Werther in der E T Z 1898, Heft 15, S. 234, das Folgende: Dieselbe dient zum Rübentransport zwischen dem etwa $2\,^1/_2$ *km* entfernten Hafen und der Fabrik. Auf dieser Bahn werden täglich in sieben Arbeitsstunden 175000 *kg* Rüben aus den Schiffen nach der Fabrik gebracht.

Der Oberbau besteht aus 65 *mm* hohen, 7 *kg/m* schweren Vignolschienen, welche in Gleisrahmen von 600 *mm* Spurweite und 5 *m* Länge auf leichten Stahlschwellen montiert sind; als Stossverbindung dienen Langlaschen. Es wurde eine elektrische Lokomotive von 16 PS und 3300 *kg* Gewicht vorgesehen, welche den Transport mit zwölf angehängten Stahlmuldenkippern von 1 *cbm* Inhalt zu besorgen hat. Der beladene Zug fährt nach der Fabrik und hält längs der Rübenschwemme. Während die Rüben in die Schwemme gekippt werden, rangiert die Lokomotive an das andere Ende des Zuges und fährt sodann an der Spitze der Wagen zum Hafen

zurück, wo inzwischen ein zweiter Zug von zwölf Wagen beladen worden ist. Diese stösst die Lokomotive hinter eine Ausweichung, wird vom leeren Zuge losgekuppelt und tritt an der Spitze der vollen Wagen wieder die Fahrt nach der Fabrik an. Da die Geschwindigkeit des beladenen Zuges 14 *km* in der Stunde, des leeren Zuges 17 *km* beträgt, so kann alle 20 bis 25 Minuten ein Zug abgelassen werden.

Die Steigungen betragen bis zu 1,7 %; die Kurven sind ausserordentlich scharf und besitzen grösstenteils den Radius von 9,56 *m* an der Aussenschiene.

Die Strecke ist fast durchweg gerade.

Die elektrische Lokomotive hat zwei Hauptstrommotoren von je 8 PS und gleicht der vorher beschriebenen.

Die Bahn führt über eine Drehbrücke von 15 *m* Länge. Um die Mittagszeit, wenn die Schiffe in den Fabrikshafen eingelassen werden, muss die Brücke gedreht und der Leitungskontakt zu beiden Seiten der Brücke sowohl an dem Fahrdrahte als an den Schienen unterbrochen werden. Da während dieser Zeit der Bahnbetrieb stillsteht, so war es nicht nötig, Speiseleitungen durch den Kanal zu legen, es mussten jedoch in den Fahrdraht wie in die Schienen zu beiden Seiten der Brücke Kontaktvorrichtungen eingebaut werden. Diese sind aus Rotguss hergestellt und so konstruiert, dass durch Anziehen bezw. Lösen von vier Schrauben die vier Kontakte hergestellt bezw. unterbrochen werden.

Es wurden einige oberflächliche Messungen vorgenommen, um erstens den Wirkungsgrad der Lokomotive, zweitens den Bahnwiderstand für die Lokomotive einerseits, für die Wagen anderseits in der Geraden und in Kurven zu bestimmen. Als Instrumente dienten ein Strommesser, ein Spannungsmesser und ein Dynamometer. Bei den Messungen befand sich die Kurbel des Regulators in der letzten Stellung, die beiden Motoren arbeiteten also annähernd mit der vollen am Voltmeter beobachteten Spannung ohne Vorschaltung von Widerständen.

Die Messmethode beruht auf dem Arbeitsvorgang in der Lokomotive. Die in die Lokomotive eingeleitete elektrische Energie ist gleich der am Radumfang der Triebachse abgegebenen mechanischen Energie abzüglich der Verluste in den Motoren, im Zahnradvorgelege und an den Triebachsen; oder allgemeiner ausgedrückt, die in die Lokomotive eingeleitete elektrische Energie multipliziert mit dem Wirkungsgrade der Lokomotive ist die am Triebradumfang abgegebene mechanische Energie. In Form einer Gleichung lautet dieser Satz:

$$\frac{i \cdot e \cdot \eta}{736} = \frac{(Z_l + Z_g)\, v}{75}.$$

Hierin bedeutet: i die Stromstärke in Ampère, e die Spannung in Volt, η den Wirkungsgrad der Lokomotive, v die Fahrgeschwindigkeit in *m*/Sek., Z_l die für die Lokomotive vom Gewicht L aufzuwendende Zugkraft in Kilogramm, Z_g die für die angehängten Wagen vom Gesamtgewicht G aufzuwendende Zugkraft in Kilogramm.

In obiger Gleichung sind i, e, Z_g und v messbare Grössen. Die beiden unbekannten η und Z_l sind daher zu berechnen, wenn für zwei verschiedene Wagenkolonnen vom Gewichte G_1 und G_2 zwei Messungen gemacht werden.

Auf einer Steigung von 0,53% und 100 *m* Länge wurden bei windstillem, ziemlich trockenem Wetter kurz nacheinander zwei Messungen mit zwölf bezw. sechs beladenen Muldenkippern ausgeführt. Es wurden folgende Werte beobachtet:

$$Z_{g1} = 225,\quad i_1 = 23{,}0,\quad e_1 = 505,\quad v_1 = 3{,}33,$$
$$Z_{g2} = 110,\quad i_2 = 16{,}5,\quad e_1 = 525,\quad v_2 = 4{,}17.$$

Demnach ist:

$$1)\quad \frac{Z_l + 225}{\eta} = \frac{23 \cdot 505 \cdot 75}{3{,}33 \cdot 736} = 356;$$

$$2)\quad \frac{Z_l + 110}{\eta} = \frac{16{,}5 \cdot 525 \cdot 75}{4{,}17 \cdot 736} = 212.$$

Aus diesen Gleichungen folgt:

$$Z_l = 356\,\eta - 225,$$
$$Z_l = 212\,\eta - 110.$$

Folglich ergeben sich die Werte:

$$\eta = \frac{115}{144} = 0{,}8,$$
$$Z_l = 356 \cdot 0{,}8 - 225 = 60\ kg.$$

Streng genommen ist η in beiden Gleichungen nicht identisch, sondern für jede Messung verschieden. Werden aber die Beanspruchungen der Motoren so gewählt, dass ihre Wirkungsgrade nicht viel vom günstigsten Wirkungsgrade abweichen, dann können diese nur um wenige Prozente differieren; die Rechnung ergiebt dann den mittleren Wert beider Wirkungsgrade.

Weitere Messungen wurden bei windigem Wetter ausgeführt. Der Einfluss des Windes, welcher der Zugrichtung entgegengesetzt wehte, zeigte sich deutlich in dem grösseren Kraftbedarf für die Lokomotive. Die Rechnung ergab nämlich für Z_l Werte bis 85 *kg*.

Jeder mit Rüben beladene Muldenkipper von 1 *cbm* Inhalt wiegt ca. 1100 *kg* brutto, die Lokomotive ca. 3300 *kg*. Das Gesamtgewicht von zwölf Rübenwagen beträgt daher 13200 *kg*, dasjenige von sechs

Rübenwagen 6600 *kg*. Bezeichnet Q das Gewicht des ganzen Zuges einschliesslich der Lokomotive in Tonnen, s die Steigung in Millimetern pro Meter und r den Widerstand auf gerader wagerechter Bahn in Kilogramm/Tonne fortbewegter Last, so besteht die Gleichung:

$$Q\,(r + s) = Z_l + Z_g.$$

Werden die bei derartigen Versuchen benutzten Werte in diese Gleichung eingesetzt, so folgt:

$$1)\quad 16{,}5\,(r + 5{,}3) = 225 + 60$$

$$r = \frac{285}{16{,}5} - 5{,}3 = 11{,}97\ kg;$$

$$2)\quad 9{,}9\,(r + 5{,}3) = 110 + 60$$

$$r = \frac{170}{9{,}9} - 5{,}3 = 11{,}87\ kg.$$

Also sind in beiden Fällen ca. 12 *kg* Zugkraft in der Ebene für die Tonne fortzubewegenden Zuggewichts nötig.

Der Bahnwiderstand der Lokomotive ergiebt sich aus:

$$L\,(r_l + 5{,}3) = Z_l,$$

$$3{,}3\,(r_l + 5{,}3) = 60,$$

$$r_l = \frac{60}{3{,}3} - 5{,}3 = 12{,}9\ kg.$$

Der Bahnwiderstand der angehängten Wagen ergiebt sich aus:

$$G\,(r_g + s) = Z_g.$$

$$1)\quad 13{,}2\,(r_g + 5{,}3) = 225$$

$$r_g = \frac{225}{13{,}2} - 5{,}3 = 11{,}75\ kg;$$

$$2)\quad 6{,}6\,(r_g + 5{,}3) = 110$$

$$r_g = \frac{110}{6{,}6} - 5{,}3 = 11{,}4\ kg.$$

Im Mittel ist also $r_g = 11{,}6$ *kg*.

Die Thatsache, dass der Bahnwiderstand der Lokomotive nur ca. 11 % grösser ist als derjenige der Wagen, ist sehr bemerkenswert. Dieses günstige Resultat beweist ziffernmässig die Vorzüge des rotierenden Antriebsmechanismus der elektrischen Lokomotive vor der Dampflokomotive, welche eine weit grössere Zugkraft im Verhältnis zu den Wagen benötigt.

Ganz in derselben Weise wie in der Geraden wurden auch in Kurven von rund 10 *m* Radius Messungen angestellt. Danach ergab sich der Kurvenwiderstand, d. h. der Widerstand, welcher in ebenen Kurven zu dem mit 12 *kg* gefundenen Bahnwiderstand der Geraden hinzukommt, für den ganzen Zug mit 5,5, für die Lokomotive mit 8 und für die Wagen mit 5 *kg*. Der Radstand der Lokomotive beträgt 720 *mm*, der Radstand des Wagens 550 *mm*.

Besonders hervorzuheben sind die Messungen der Zugkräfte und des Stromverbrauchs beim Anfahren des Zuges. Es wurden nacheinander zwölf, sechs und ein Wagen von 1100 *kg* Bruttogewicht an die Lokomotive angehängt. Das Anfahren der letzteren erfolgte stets auf demselben Gleisrahmen auf ebener Strecke. Die Zugkräfte schwankten beim Anzug von zwölf Wagen zwischen 500 und 650 *kg*, betrugen beim Anzug von sechs Wagen rund 450 *kg* und beim Anzug eines Wagens rund 250 *kg*. Der Strommesser zeigte beim Anzug trotz der Verschiedenheit der Zugkräfte stets annähernd auf 30 Ampère bei 530 Volt. Zugkräfte und Stromstärken verhielten sich also keineswegs proportional der Wagenzahl; vielmehr stieg die Zugkraft in weit kleinerem Masse und betrug bei zwölf Wagen nur das 2 bis $2^1/_2$fache des Wertes für einen Wagen, während der Stromverbrauch in allen Fällen konstant blieb. Beide Resultate erklären sich daraus, dass das Anfahren der Lokomotive stets nach vorangegangener Bremsung erfolgt, bei welcher die Wagen dicht aneinander aufrücken, sodass Puffer an Puffer stossen. Der erste Stromimpuls hat daher nur das Anfahren der Lokomotive selbst zu bewirken, beträgt im vorliegenden Falle 30 Ampère und ist offenbar grösser als die Anfahrstromstärke jedes Wagens zuzüglich der Stromstärke, welche für den bereits in Bewegung befindlichen Teil des Zuges benötigt wird. Dass das Dynamometer nicht in gleicher Weise wie der Strommesser konstant anzeigte, ist daraus zu erklären, dass die dem ersten Stromimpuls entsprechende Zugkraft, welche für das Anfahren der Lokomotive erforderlich ist, auf das hinter der letzteren befestigte Dynamometer nicht wirken konnte.

Eine ungefähre Betriebskosten-Berechnung soll an Hand eines Beispiels zahlenmässig darthun, dass sich der elektrische Transport auf derartigen kleinen Bahnen wesentlich günstiger stellt, als jede andere Betriebsart.

Für eine Dampfziegelei sollen in 200 Tagen 10 000 *cbm* Thon transportiert werden. Die Länge der Strecke betrage 1000 *m*. Die Spurweite sei 500 *mm*. Steigungen seien in 1 % vorhanden.

a) Elektrischer Betrieb.

Eine vorhandene Lichtmaschine mit 110 Volt Klemmenspannung soll auch zur Stromerzeugung für den Transport dienen. Die Kraftstation sei für Licht und Transport gleich stark beansprucht. Daher entfällt die Amortisationsquote für die Centralstation zur Hälfte auf die Beleuchtungskosten, zur Hälfte auf die Transportkosten. Die Geschwindigkeit betrage im Mittel 15 *km*/Std., mithin die

Dauer der Hin- und Rückfahrt $\frac{60 \cdot 2}{15} = 8$ Minuten.

Zuschlag für Verschiebedienst 5 »

Zusammen 13 Minuten.

Zur Verwendung komme eine 6 PS elektrische Lokomotive von 1500 *kg* Eigengewicht. Dieselbe zieht drei beladene Muldenkipper von je $^{3}/_{4}$ *cbm* Inhalt auf der angegebenen Steigung. Das tägliche Transportquantum beträgt $\frac{10000}{200} = 50$ *cbm* $= \sim 100$ *t*.

Ein Wagen fasst 1,5 *t*, also müssen täglich $\frac{100}{1,5 \cdot 3} = \sim 22$ Fahrten stattfinden.

Es wird direkt nach Bedarf in die Ziegelpresse entladen. Daher sind drei Züge mit je drei Wagen, zusammen neun Wagen erforderlich.

Das Anlagekapital beträgt hierfür nach Koppel'schen Preisen:

I. Oberbau	ℳ	2740,—
II. Elektrische Streckenausrüstung	»	2155,—
III. Rollendes Material	»	4355,—
IV. Schalttafel und Leitungsanschlüsse	»	190,—
V. Montage u. s. w.	»	560,—
in Summa	ℳ	10000,—

Betriebskosten-Berechnung.

a) Unterhaltungskosten

1. des Oberbaues 5 % von ℳ 2740	ℳ	137,—
2. der elektrischen Streckenausrüstung 4 % von ℳ 2155	»	86,20
3. des rollenden Materials 3 % von ℳ 4355	»	130,65
4. der Centralstation (ca. 5000 ℳ Anschaffungskosten) die Hälfte von 4 %, also 2 % von ℳ 5000	»	100,—

b) Gehälter

5. des Lokomotivführers (200 Tage)	»	700,—
6. der Hilfskraft für den Maschinisten	»	500,—

c) Materialverbrauch

7. Tages-Energie-Verbrauch = 11,3 Kilowattstund. an der Dynamo, d. i. $= \frac{11,3 \cdot 1000}{736 \cdot 0,87} = \sim 17,6$ Pferdekraftstunden an der Dampfmaschine, also mit Zuschlag für Leerlauf der Dynamo, Anfahren und Bremsung etc. ca. 20 Pferdekraftstunden. Kohlenverbrauch $20 \cdot 2 = 40$ *kg* Kohle d. i. bei 200 Arbeitstagen $40 \cdot 200 = 8000$ *kg* Kohle rund 2 ₰ . . im Mittel = ℳ 160,—

dazu für Anheizen 10 % » 16,—

ℳ 176,— » 176,—

d) Putz- und Schmiermaterial			
8.	für das rollende Material 1 % von ℳ 4355 .	ℳ	43,55
9.	für die Dynamo- und Dampfmaschine die Hälfte von 1 %, also $^1/_2$ % von ℳ 5000	»	25,—
e) Zinsen und Amortisation			
10.	für die Centralstation 6 % von ℳ 5000 . .	»	300,00
11.	für das übrige Anlagekapital 12 % von ℳ 10000	»	1200,—
	Gesamtbetriebskosten	ℳ	3398,40
	d. i. 20000 t/km Nutzlast = ∼	»	3400,—

oder 1 t/km = 17 ₰
1 cbm/km = 8,5 ₰

b) Pferde-Betrieb.

Ein Pferd kann durchschnittlich 50 kg Zugkraft entwickeln und durchschnittlich nicht mehr als 30 km am Tage leisten. Es zieht somit $\frac{50}{11,6} = 4,3\ t$ auf Feldbahngleisen, d. i. in unserem Falle = 3 beladene Muldenkipper von je $^3/_4$ cbm Inhalt.

Dauer der Hinfahrt $^1/_3$ Stunde	= 20	Minuten.
» » Rückfahrt $^1/_3$ »	= 20	»
Zuschlag für Umspannen . .	= 10	»
Zusammen	50	Minuten.

Also kann ein Pferd bei 8stündiger Arbeitszeit $\frac{8 \cdot 60}{50} = \sim 9$ mal täglich hin- und zurückfahren und transportiert täglich $3 \cdot 1,5 \cdot 9 = 40,5\ t$ Nettolast. Es sind somit $\frac{100}{40,5} = \sim 3$ Pferde erforderlich.

Das Anlagekapital beträgt für:

I.	Oberbau	ℳ	2740,—
II.	Rollendes Material	»	2565,—
III.	drei Pferde mit Geschirr	»	2400,—
IV.	Gleismontage	»	295,—
V.	Stallung	»	2000,—
	in Summa	ℳ	10000,—

Betriebskosten-Berechnung.

a) Unterhaltungskosten			
1.	des Oberbaues 5 % von ℳ 2740	ℳ	137,—
2.	des rollenden Materials 3 % von ℳ 2565 .	»	76,95
3.	der Pferde und Geschirre 5 % von ℳ 2400 .	»	120,—
4.	des Stalles 1 % von ℳ 2000	»	20,—

b) Gehälter

5. der drei Wagenführer	ℳ 2100,—
6. des Stallhüters	» 700,—
c) Futter	
7. für drei Pferde	» 2250,—
d) Putz- und Schmiermaterial	
8. für das rollende Material 1% von ℳ 2565 .	» 25,65
e) Zinsen und Amortisation	
9. für die Pferde und Geschirre 24% von ℳ 2400	» 576,—
10. für den Oberbau und das rollende Material 10% von ℳ 5305	» 530,50
11. für die Stallung 8% von ℳ 2000	» 160,—
Gesamtbetriebskosten	ℳ 6696,10
= ∼	» 6700,—

d. h. also nach ungefährer Rechnung beinahe doppelt so teuer wie bei elektrischem Betriebe.

Die Betriebsresultate der Zuckerfabrik Zülz (O.-Schl.) an einer Koppel'schen Industriebahn liegen vor und mögen als Ergänzung und Beleg für die vorstehenden theoretischen Berechnungen hier folgen.

Bei vollem Campagnebetrieb, und zwar vom 4. Oktober bis 17. Dezember 1898, sind ausgegeben:

Löhne für Zugführung, Bremsung und Wärterdienst laut Lohnbuch	ℳ 446,92
Kohle für 62 Tage, je 900 *kg*	» 479,88
Öl für Centralstation, $2\frac{1}{2}$ *l* für jeden Tag = $62 \cdot 2\frac{1}{2} = 155\ l = 150\ kg$, je 33 ₰	» 49,50
$\frac{1}{2}$ *l* Cylinderöl für jeden Tag = 31 *kg*, je 56 ₰	» 17,36
$\frac{1}{2}$ *l* kons. Fett am Tag = 31 *kg*, je 48 ₰ . .	» 14,88
Transport:	ℳ 1008,54

Zum Schmieren der Wagen wird Ablauföl verwendet.

3% Zinsen des Anlagekapitals ℳ 34000	ℳ 1020
10% Amortisation ℳ 34000	» 3400
	ℳ 4420

bei 300 Arbeitstagen ergeben sich 14,70 ℳ für 1 Tag, d. i. für die Campagne 62 · 14,70 . » 911,40

ℳ 1919,94

Ausserhalb der Campagne wird die Bahn zu anderen Zwecken benutzt.

Thalwärts wurden befördert 267546 Ctr. in Gestalt von Kohlen, Steinen, Rüben, Koks, und Verschiedenes; Schnitte und Zucker gingen bergwärts, sodass auf den Centner befördertes Gut 0,72 ₰ entfallen bei einer Beförderungsstrecke von annähernd 1000 *m*. Das *t/km* kostet demnach 14,2 ₰.

Diese äusserst geringen Kosten würden noch eine weitere Verminderung erfahren haben, wenn nicht, wie es in der Natur der Güterbeförderung liegt, durch unregelmässige Gütereingänge häufige Pausen entstanden sein würden.

Zur Anfertigung vollständiger Projekte und genauer Kostenanschläge für Feld- und Waldbahnen sind nachstehende Fragen unter Einsendung von Lage-Plänen der Bahnstrecke, aus welchen auch die Lage der Maschinenstationen und der übrigen an der Strecke liegenden Baulichkeiten hervorgehen, unentbehrlich, sofern der projektierende Ingenieur nicht selbst die betreffenden Vorstudien machen kann.

Fragen	Antworten
1. Was für Material soll transportiert werden?	
2. Wie gross ist das tägliche Transportquantum in jeder Richtung und in wieviel Arbeitsstunden ist es zu transportieren?	
3. Wieviel Wagen sind bereits vorhanden?	
4. Wie sind die Hauptangaben für die Wagen? Type der Wagen? Wageninhalt? Wagengewicht? Spurweite? Radstand? Länge des Untergestells (einschliesslich der Puffer)? Höhe der Puffermitte über Schienenoberkante? Breite des Untergestells? Länge des Wagenaufsatzes? Breite des Wagenaufsatzes?	Durch eine Mass-Skizze zu erläutern.
5. Wie ist das Terrain beschaffen, auf dem die Bahn angelegt werden soll (ob Acker, Wiese, Wald, Chaussee, Feldweg, gepflasterter Hof etc.)?	
6. Ist durch eine Durchfahrt eine Maximalhöhe des Leitungsdrahtes vorgeschrieben und wie gross ist dieses Mass?	
7. Ist durch einen Wegübergang oder durch den Verkehr von Erntewagen eine Mindesthöhe des Leitungsdrahtes vorgeschrieben und wie gross ist dieses Mass?	

Fragen	Antworten
8. Wie sind die Hauptangaben für die Bahnstrecke: Gesamtlänge? Anzahl der Kurven? Grösse der Kurvenradien? Steigungsverhältnisse? Grösste bergauf zu befahrende Steigung in %? Länge dieser Steigung? Anzahl der Ausweichungen? Anzahl der Kreuzungen?	Durch den Lageplan zu erläutern.
9. Sollen vorhandene Gleise benutzt werden?	
10. Wie sind die Hauptangaben für die Gleise: Gesamtlänge? Schienenhöhe? Schienenprofil (skizziert) bezw. Gewicht der Schiene für das Meter? Holz- oder Stahlschwellen? Schwellenprofil und Anzahl der Schwellen eines Gleisrahmens? Länge der Gleisrahmen? Art der Stossverbindung?	
11. Findet ein Verlegen der Gleise statt und wie oft?	
12. Soll eine vorhandene Dynamomaschine zur Stromerzeugung dienen?	
13. Wie sind die Hauptangaben für diese Dynamomaschine? Spannung in Volt? Stromstärke in Ampere?	
14. Soll eine vorhandene Kraftmaschine (Dampfmaschine, Turbine, Gasmotor etc.) zum Antrieb von Dynamomaschine dienen?	Nur zu beantworten, wenn eine neue Dynamomaschine veranschlagt werden soll.
15. Wie sind die Hauptangaben für diese Kraftmaschine? Zum elektrischen Betrieb abzugebende Leistung in effektiven Pferdestärken? Umdrehungszahl i. d. Minute? Durchmesser und Breite der Antriebsscheibe? Art der Maschine (liegende oder stehende, Eincylinder- oder Compound-Dampfmaschine, Steuerung u. s. w.)?	

Fragen		Antworten
16. Sollen vorhandene Kessel zur Dampferzeugung dienen?	Nur zu beantworten, wenn eine neue Dampfmaschine veranschlagt werden soll.	
17. Wie sind die Hauptangaben für diese Kessel? Dampfdruck in Atm. abs.? Wasserberührte Heizfläche in *qm*? Art der Kessel (Cornwall- oder Wasserrohrkessel)?		
18. Wie gross ist die Länge der Speiseleitung, d. h. die Entfernung der Dynamomaschine bis zum nächsten Punkte der Bahnstrecke?	Durch Lageplan zu erläutern.	
19. Wie viel Meter der Speiseleitung sind durch geschlossene Räume zu führen, wie viel Meter im Freien zu verlegen?		
20. Liegt die Maschinenstation an einem Ende der Bahnstrecke oder in welcher Entfernung hiervon liegt sie?		
21. Soll die Dynamomaschine auch zur Beleuchtung oder zum Motorenantrieb dienen? Zur Zeit des Bahnbetriebes oder ausserhalb dieser Zeit?		
22. Wieviel Strom in Ampere wird hierfür benötigt od. wie gross ist die: Anzahl der Glühlampen? Anzahl der Bogenlampen? Anzahl der Elektromotoren? Leistung der einzelnen Elektromotoren in effektiven Pferdestärken?		

4. Kanalschleppbahnen.

Über dieses Thema hat Lebegott eine Zusammenstellung veröffentlicht, welche sich im wesentlichen mit den bisherigen Ausführungen deckt. Die nachfolgenden Daten sind dieser Zusammenstellung auszugsweise entnommen.

Bei den Systemen elektrischer Schleppschiffahrt kann man zwei Hauptgruppen unterscheiden. Bei der einen wird und muss die elektrische Energie vom Lande aus dem zu schleppenden Schiff oder einem besonderen Schleppschiff direkt zugeführt werden, und es vollzieht sich der Prozess des Schleppens selbst vollständig auf dem Wasser.

Bei der anderen Gruppe bleibt die elektrische Energie und die schleppende Maschine auf dem Lande und letztere wird durch ein Zugseil mit den zu schleppenden Schiffen verbunden.

In der ersteren Gruppe kann man dann noch unterscheiden zwischen denjenigen Systemen, welche die Schiffsschraube angenommen haben, und denjenigen, welche sich der Kettenschiffahrt bedienen. Von letzteren ist das bemerkenswerteste System das von Bovet, während für das erstere Vorschläge von Büsser und Gaillot gemacht sind. Alle diese Systeme sind in der Absicht ausgebildet, dass mit der Schleppvorrichtung womöglich jedes einzelne der Schiffe, welche einen Kanal passieren, leicht ausgerüstet werden kann. Bei Einfahrt in einen Kanal würde dann die Schleppvorrichtung auf dem Schiffe angebracht und beim Verlassen desselben wieder von ihm entfernt werden.

Selbstverständlich können auch besondere Schleppschiffe, welche beständig mit der Schleppvorrichtung versehen sind, zum Schleppen der Schiffe gebaut werden.

Der Vorschlag von Büsser rührt aus dem Jahre 1895 her.

Ein kleines, schiffsähnliches Gefäss, welches mit einem Elektromotor und Schiffsschraube ausgerüstet ist, wird auf den oberen Teil des Steuerruders angebracht.

Gaillot benutzt einen ähnlichen Apparat, hängt ihn aber direkt an das Schiffshinterteil und steuert gleichzeitig mit dem Apparat.

In einem wasserdicht geschlossenen Gehäuse, welches an der Steuerstange drehbar am Schiffshinterteil befestigt wird, befindet sich fest montiert der Motor für eine Leistung von rund 5 PS, dessen Anker sich in vertikaler Richtung dreht. Die Ankerwelle ist verlängert und treibt durch Räderübersetzung eine horizontale Welle an, welche durch eine Stopfbüchse aus dem Gehäuse austritt und an ihrem Ende die Schraube trägt. Das Gehäuse ist nach der Schraube zu abgeflacht, sodass das Wasser zu derselben ungestört gelangen kann. Die Schraube aus Bronze hat drei Schaufeln mit einem Durchmesser von 95 *cm* und einer Breite von 40 *cm*; sie bewegt sich wie die Dynamo mit 300 Umdrehungen pro Minute.

Der ganze Apparat erhöht die Länge des Schiffes, an welches er angebracht wird, um rund 40 *cm*. Da die Schleusen nun so eingerichtet sind, dass sie die grössten Schiffe gerade aufnehmen können, so würden mit dem Gaillot'schen Apparat diese Schiffe nicht in die Schleuse einlaufen können.

Eine grössere Beachtung als diese Systeme verdient das System von Bovet. Es bezweckt ebenfalls, dem Lastfahrzeug für die Dauer der Fahrt durch den Kanal einen Apparat beizugeben, der eine relativ schnelle Durchfahrt ermöglicht. Bovet benutzt, wie bemerkt, das System der Kettenschiffahrt, indem er dem Schiff eine sogenannte magnetische Rolle beigiebt, die von einem Elektromotor angetrieben, sich an einer im Kanal versenkten Kette entlang wälzt.

Der Bovet'sche Apparat wird auf einem Rahmen montiert, mit welchem er auf die Schiffsplanken aufgeschraubt wird. Durch einen ausziehbaren Teil kann sich der Rahmen der Breite eines jeden Fahrzeuges anpassen. Der Apparat selbst ist in einem Gehäuse aus Eisenblech eingeschlossen, aus welchem nur die Tauereiwelle hervorragt; der ganze Kasten kann auf dem Sockel verschoben werden, sodass die Rolle, welche für gewöhnlich dicht bei der Schiffswandung vorbeigeht, beim Passieren der Schleuse zurückgezogen werden kann.

Der Elektromotor ist auf einem, durch eine Feder einstellbaren Arm befestigt, die Spannung der Feder kann von aussen mittels eines Hebels eingestellt werden. Hierdurch ist es möglich, die auf der Motorachse aufgekeilte Friktionsscheibe ganz genau einzustellen, sodass sie gerade an der inneren Wandung einer Trommel schleift, welche sie bei ihrer Rotation mitnehmen soll. Die Friktionsscheibe ist mit Drahtwindungen versehen, die vom Strom durchflossen, die Scheibe magnetisch machen, wodurch je nach der Stärke des Stromes eine mehr oder weniger feste Verbindung zwischen der Scheibe und der Trommel herbeigeführt wird. Die Motorwelle und die Trommelwelle sind also gewissermassen durch eine magnetische Kuppelung elastisch verbunden. Von der Trommelwelle wird dann durch Zahnradgetriebe die Tauereiwelle und damit die auf dieser sitzende magnetische Rolle angetrieben.

Diese Rolle stellt einen Magneten dar, bestehend aus einem von einer Drahtspule umgebenen Eisenkern, welcher auf seinen Polenden kreisförmige Eisenplatten trägt. Die Kette legt sich über einen nach innen vorspringenden Rand dieser Eisenplatten, die bei Erregung der Spule magnetisch werden und die Kette so stark anziehen, dass bei Bewegung der Rolle ein Gleiten nicht eintritt.

Zur Führung der Kette an der Stelle, an der sie die magnetische Rolle verlässt, ist eine kleine gusseiserne Rolle angebracht. An der entgegengesetzten Seite befindet sich ein Daumen aus nicht magnetischem Metall, der die Kette vor dem Herausspringen aus der Rollen-Rille schützt. Daumen und Gegenrolle sind auf einem Träger montiert, der in fester Verbindung mit einem Zahnrad steht. Letzteres kann durch eine Schraube ohne Ende bewegt werden, wodurch es möglich ist, die Umspannung der Kette auf dem Tauereirade vom blossen Berühren bis zu einem Sektor von 270° einzustellen. Diese Umspannung genügt erfahrungsgemäss, um Dank der magnetischen Rolle ein Gleiten auch beim Schleppen der schwersten Schiffe selbst bei feuchtester Witterung zu vermeiden; hierin liegt auch der Vorteil der magnetischen Rolle für die Kettenschiffahrt, bei der sonst die Kette mehrmals um die Tauereiwelle geschlungen werden muss und daher starke Abnützung und oftmals Reissen der Kette eintritt.

Die magnetische Rolle gestattet nebenbei ein plötzliches sehr starkes Bremsen, indem die Stromzuführung zum Antriebsmotor unterbrochen wird, während die Erregung der Rolle also die magnetische Anziehung der Kette aufrecht erhalten bleibt.

Der Motor macht tausend Umdrehungen in einer Minute, während die magnetische Rolle infolge der gewählten Übersetzungen nur 40 Umdrehungen in einer Minute macht. Bei einem Durchmesser von 40 *cm* an der Einschnürung, auf welcher die Kette liegt, hat sie hier eine Umfangsgeschwindigkeit von 0,80, bei der in einer Stunde 3 *km* der Kette abgewälzt werden.

Die magnetische Kuppelung wurde von Bovet in den Apparat eingeführt, um ein elastisches Zwischenglied zu haben, das bei Überanspruchung nachgiebt und mit welchem es ausserdem leicht möglich ist, die Grösse der auftretenden Kräfte festzustellen. Da nun bei den eingehenden Versuchen sich herausgestellt hat, dass auch beim Schleppen der schwersten Schiffe keine Beanspruchungen auftreten, die die normalen um das Dreifache übersteigen, und diese grössten Überbeanspruchungen keinen schädlichen Einfluss auf Motor und Getriebe ausüben, so hat Bovet seinen Apparat dadurch vereinfacht, dass er zwischen Motor und Tauereiwelle eine einfache Übersetzung mittels einer in Öl laufenden Schnecke und einem einfachen Schneckengetriebe anordnet. Dieser Apparat ist erheblich kompendiöser und leichter als der Versuchsapparat; er wiegt ohne Rahmen nur 700 bis 800 *kg*.

Bei dieser Ausführung befindet sich noch auf dem der magnetischen Rolle gegenüber liegenden Ende der Tauereiwelle ein Spillkopf vom halben Durchmesser der Rolle, welcher dazu dient, durch ein am Ufer befestigtes Tau einige Manöver unabhängig von der Kette ausführen zu können.

Die Stromzuleitung zu dem Motor erfolgt bei vorerwähnten Systemen vom Lande aus, wo entweder, Hin- und Rückleitung auf Isolatoren an Gestängen verlegt werden oder auch nur ein Pol isoliert angeordnet wird, während die Rückleitung an jedem oder jedem zweiten Mast an Erde gelegt wird. Die Stromabnahme von der Leitung am Lande geschieht durch an den Leitungen schleppende Rollen, die durch ein Seil mit zwei Adern den Strom zum Motor hinführen.

Von den Systemen, bei denen sich der Prozess des Schleppens auf dem Lande selbst vollzieht, sind zu unterscheiden, diejenigen welche die schleppende Maschine auf dem Treideldamm laufen lassen und diejenigen, welche den Treideldamm für beliebigen anderen Verkehr frei lassen, indem sie die Schleppmaschine in ausreichender Höhe über den Treideldamm an geeigneten Konstruktionen sich bewegen lassen. Von letzteren Systemen sind zu erwähnen, dasjenige

von Lamb und v. Thwaite & Gawey, während von ersteren die Systeme von Denèfle und dasjenige der Firma Siemens & Halske hervorzuheben sind.

Das System Lamb stellt eine Seilbahn dar und ist ursprünglich geschaffen worden, um Holztransporte auf Waldwegen zu bewirken. Es wurde im Jahre 1899, gemäss einer Vereinbarung mit der Königlich Preuss. Regierung, auch von der Firma Siemens & Halske am Finowkanal einer Prüfung unterzogen. Die Fig. 247 giebt ein Bild eines Teiles dieser Versuchsstrecke mit dem Motorwagen.



Fig. 247.

An Holzpfosten wird in 4 bis 5 *m* Höhe ein Tragseil von 32 *mm* Stärke gespannt. Auf diesem Tragseil läuft mit zwei Rollen der Motorwagen, welcher eine Seiltrommel von rund 600 *mm* Durchmesser trägt, die mittels doppeltem Rädervorgelege von einem 5pferdigen Elektromotor angetrieben wird. Um die Rolle wird ein zweites ebenfalls ruhendes Seil, das Zugseil, einmal geschlungen, und es wird daher, sobald der Elektromotor in Gang gesetzt wird, der Wagen sich an diesem Zugseil entlang arbeiten. Auf dem Wagen ist der Anlasser für den Motor angebracht, welcher mittels herabhängender Schnüre von einer, den Wagen auf dem Treideldamm be-

gleitenden Person ein und ausgeschaltet werden kann. Die Anordnung wird aber auch so getroffen, dass das Tauereiseil, durch welches der Wagen mit dem zu schleppenden Schiff verbunden wird, gleichzeitig auch die Stromleitungen enthält, und dass dann das Ein- und Ausschalten des Motors auf dem Schiffe selbst erfolgt. Auch wird endlich an dem Wagen ein Sitz angebracht, in welchem ein Führer Platz nehmen kann. Der Wagen wird auch in diesem Falle so hoch geführt, dass keine Störung des übrigen Verkehrs auf dem Treideldamm eintreten kann.

Auf der Strecke, auf welcher mit dem Lamb'schen System von der Firma Siemens & Halske die Versuche ausgeführt wurden, geschah die Zuleitung zum Motor von einer besonderen Leitung aus, mittels eines mit einer Rolle versehenen Stromabnehmers, wie bei elektrischen Bahnen üblich, während als Rückleitung die Seile dienten. Eigentlich soll das Tragseil als Hin- und das Zugseil als Rückleitung für den Strom benutzt werden, indem die Stützen für das Tragseil mit isolierten Einlagen versehen werden und das Gestänge des Motorwagens vollständig isoliert ist.

Es musste indessen von der Benutzung des Tragseiles als Stromleitung Abstand genommen werden, da es sich herausstellte, dass beim Betrieb Horizontalkräfte auf dasselbe bis zu 10000 *kg* einwirken, denen die Isolationseinlagen der Träger nicht standhalten.

Aus diesem Grunde müssen auch die Gestänge sehr stark gewählt und solide befestigt werden. Da bei Kurvenmasten ferner Zugkräfte auftreten, deren nach dem Wasser gerichteten Horizontal-Komponenten bis zu 3000 *kg* betragen, so müssen besonders an diesen Masten sehr starke Verankerungen angebracht werden, zu denen das dem Treideldamm benachbarte Terrain in Anspruch genommen werden muss.

Das System von Thwaite & Gawey stellt auch eine Luftbahn dar, der Motorwagen läuft indessen nicht auf Seilen, es werden vielmehr sehr starke Holz- oder eiserne Maste in kurzen Abständen von etwa 10 *m* voneinander aufgestellt, an welchen ein starkes U- bezw. Z-Eisen mittels starker Winkeleisen befestigt wird. Gewöhnlich sind zwei dieser Eisen übereinander angeordnet, sodass zwei Motorwagen in verschiedenen Richtungen ohne einander zu stören, darauf laufen können.

Der in einem Kasten angeordnete Motor, welcher mit der Motorachse parallel zu der Laufbahn liegt, ist beiderseits mit einer Schneckenwelle gekuppelt, welche je zwei Schneckenräder antreibt, die mit Druckrädern fest verbunden sind. Je eines dieser Räder läuft oben auf dem eben erwähnten U-Eisen, während die anderen Räder von unten gegen die Eisen gepresst werden. Wird der Motor

in Bewegung gesetzt, so bewegt sich der Wagen vorwärts und schleppt mittels eines Seiles das zu schleppende Fahrzeug. Die Stromzuleitung erfolgt durch eine Kupferschiene, welche an hölzernen Leisten befestigt ist, die ihrerseits an der Unterseite der Eisenschienen montiert werden. Die Rückleitung erfolgt durch die Eisenschienen selbst.

Zu den Systemen übergehend, welche die Schleppmaschine auf dem Treideldamm laufen lassen, ist zunächst das System von Denèfle, welches unter dem Namen des Cheval électrique bereits eine häufige Anwendung in der Praxis gefunden hat, zu erwähnen.

Das Cheval électrique besteht aus einem dreirädrigen Wagen, welcher sich ohne Schienen auf dem Leinpfad bewegt. Der Wagen baut sich auf einem festen Rahmen aus Eisen auf, an welchem vorne das Führungsrad sich befindet, das von der am hinteren Teil befindlichen Kabine aus gesteuert werden kann. Der rund 5 bis 6 pferdige Motor treibt mittels Zahnradübersetzung die eisernen Laufräder, welche breite Laufflächen haben, die ausserdem mit Seilen von Aloefaser umwickelt sind, um eine gewisse Elastizität und eine grössere Adhäsion zu erhalten. Die vorerwähnte Kabine enthält Schalt-, Mess- und Regulierapparate für den Motor. Letzterer ist ein Hauptstrommotor, dessen Steuerung wie bei Trambahnen erfolgt, indem nämlich seine Geschwindigkeit mittels der durch den Steuerapparat vorzuschaltenden Widerstände erhöht oder erniedrigt werden kann.

Im allgemeinen ist die Geschwindigkeit so gross, dass die Schiffe mit 3 *km* in der Stunde geschleppt werden. Um indessen leere Schiffe mit einer Geschwindigkeit bis zu 6 *km* fortbringen zu können, ist der Steuerapparat so eingerichtet, dass durch die Schwächung der Feldstärke des Motors, die Tourenzahl bis auf das Doppelte erhöht werden kann.

Von dem Führer des chevals kann auch eine Fussbremse bethätigt werden, ausserdem hat er die Möglichkeit, jedes der Steuerräder ein- und auszukuppeln, wodurch es ermöglicht ist, das cheval électrique um eines der Räder zu drehen.

Das Tauereiseil wird an dem cheval an einer eisernen Stange befestigt, die in horizontaler Richtung zur Achse des Wagens beweglich ist; der Angriffspunkt befindet sich ein wenig vor der Kabine in 20 *cm* Höhe über dem Rahmen.

Das Gewicht der ganzen Lokomotive beträgt ungefähr 2200 *kg*.

Das Lokomotivsystem der Firma Siemens & Halske, wie es bei der Versuchsstrecke am Finowkanal ausgeführt worden ist, zeigen die umstehenden Fig. 248 und 249 mit Teilen dieser Versuchsstrecke.

Das System, von dem Oberingenieur Köttgen der Firma Siemens & Halske durchgebildet, benutzt eine Lokomotive, die sich auf einem Schienenwege bewegt. Die Gleisbahn erhält eine Spur von 1 *m*, die aber auch bis auf 60 *cm* verringert werden kann; sie unterscheidet

sich hauptsächlich dadurch von einer solchen für Eisenbahnen, dass das Gewicht der Lokomotive zu 75 bis 80 % auf der dem Wasser abgekehrten Schiene liegt und dass dadurch diese letztere Schiene, die Hauptschiene, schwerer ist, als die dem Wasser zu liegende Nebenschiene. Die Hauptschiene wiegt 9 *kg*, die Nebenschiene $4^1/_2$ *kg/m*.

Für diese Anordnung war die Erwägung massgebend, dass sich die beim Treideln auftretenden eigenartigen Kräfte, besonders die horizontalen Kräfte besser und sicherer würden auf eine Schiene als auf zwei Schienen übertragen lassen, was sich auch bei den Versuchen als richtig erwiesen hat.

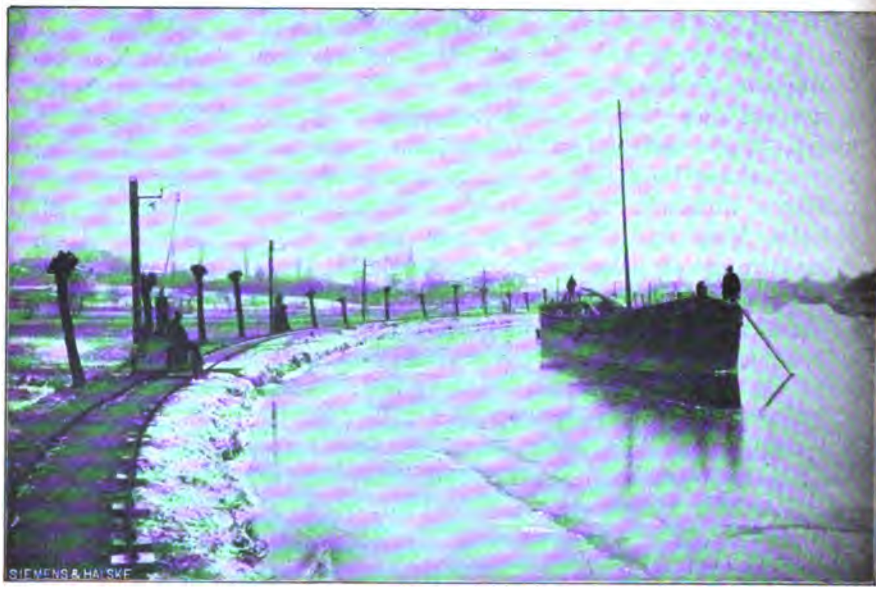


Fig. 248.

Die Schienen sind bei der Versuchsstrecke teils auf Holz in Kiesbettung verlegt, teils auf Betonklötzen von 400 *mm* Höhe und rund 100 *kg* Gewicht für die Hauptschiene und 300 *mm* Höhe und rund 50 *kg* Gewicht für die Nebenschiene befestigt.

Die Gestalt der Betonklötze ist die einer abgestumpften Pyramide. Der Vorteil der Verlegung auf Betonklötzen besteht in der vollständigen Freigabe des Weges zwischen den Schienen und den geringeren Unterhaltungskosten. In den Anlagekosten allerdings stellt sich die Verlegung auf Betonklötzen viel höher.

Die Zahnstangen sind an der Innenseite der Hauptschiene unter Zwischenschaltung von gusseisernen Klötzen angeschraubt und zwar

in Entfernungen von 50 zu 50 *cm*. Die Länge der Schienen beträgt 7 *m*, die der Zahnstange 3,5 *m*. Die Stösse beider sind versetzt, sodass die Zahnstange die Lücke zwischen zwei Schienen für den elektrischen Strom überbrückt. Der Abstand von Mitte Schiene bis Mitte Zahnstange beträgt 46 *mm*. In den meisten Fällen wird es genügen, eine einzige Gleisbahn anzulegen und es würden dann zwei entgegenkommende Lokomotiven die Schiffstaue ihrer Fahrzeuge austauschen. Dasjenige Schiff, welches dem Ufer näher fährt, muss rechtzeitig vorher den Treidelbaum niederlegen, der erst aufgerichtet wird, wenn das Zugseil des anderen Schiffes vorbei ist.



Fig. 249.

Die Lokomotive (siehe Fig. 250) ist wie folgt gebaut:

Auf einem starken Rahmen aus U-Eisen ist der Motor und ein doppeltes Zahnradvorgelege aufgeschraubt und so miteinander verbunden, dass eine Verschiebung der Teilkreise des ersten schnelllaufenden Vorgeleges unmöglich ist. Der Motor treibt symmetrisch nach beiden Seiten. Die Übersetzung im ersten Vorgelege, welches von einem Ölkasten umgeben ist, ist 1 : 6, diejenige des zweiten, welches frei läuft 1 : 2. Die Zahnräder sitzen auf den Laufachsen, auf denen die Hauptlaufräder, welche zwei Spurkränze besitzen, fest aufgekeilt sind. Die Nebenräder sind drehbar auf den Laufachsen

befestigt und ohne Spurkranz. Sie sind ziemlich breit gehalten, um Ungenauigkeiten in der Spur passieren und auch kürzere Strecken ohne zweite Schiene befahren zu können. Die Gewichtsverteilung ist derartig getroffen, dass von dem Gesamtgewicht von 2000 *kg*, wie bemerkt, rund 75 bis 80 % auf die nach der Landseite zu verlegte Hauptschiene, der Rest auf die Nebenschiene entfällt. Das ganze Getriebe ist von einem starken Winkeleisenrahmen mit Blechverkleidung überdeckt, der oben auf der dem Wasser abgekehrten Seite, Rollen für die obere Führungsschiene bei Brückenpassagen (Fig. 251) trägt, da an diesen Stellen, um den freien Raum für die Durchfahrt nicht zu beengen, die Nebenschiene ganz fortgelassen wird, was bei der eigentümlichen Gewichtsverteilung ohne weiteres möglich ist. Ausserdem befindet sich noch auf der Lokomotive ein eisernes Türmchen mit Glasverkleidung, welches im Inneren die Messinstrumente und Sicherungen trägt.

Der Sitz für den Führer ist nach der Wasserseite zu am Rahmen angebracht, sodass er gleichmässig gut das Geleise wie auch das zu schleppende Fahrzeug überblicken kann. Zu seiner Linken befinden sich der Anlasser und der Regulierapparat für die Geschwindigkeit und rechter Hand der Bremshebel.

Der drehbare Stromabnehmer ist isoliert auf dem Türmchen befestigt. Der Kontaktarm besteht aus imprägniertem Bambusrohr und trägt am oberen Ende die Kontaktrolle, die dem Draht selbst bei scharfen Biegungen und seitlichem Ausweichen bis zu 2 bis 3 *m* folgt. Die Rolle berührt nicht wie sonst bei elektrischen Bahnanlagen den Draht von unten, sondern von oben. Ein Umlegen des Kontaktarmes bei Änderung der Fahrtrichtung ist nicht erforderlich.

Gegen seitliche nach dem Wasser zu wirkende Kräfte ist die Lokomotive äusserst stabil. Sie verdankt dieses ihrer eigenartigen Gewichtsverteilung und den vorgesehenen horizontalen Rollen, die gegen die Aussenseite des Kopfes der Hauptschiene laufen. Aber selbst wenn diese Rollen fortgelassen werden, genügen die Spurkränze um die Lokomotive gegen die seitliche Kraft im Gleise zu halten.

Die Lokomotiven werden auch für Fortbewegung auf nur einer Schiene gebaut, in welchen Fällen dann auf der anderen Seite breite Laufräder angeordnet werden, die direkt auf dem Treideldamm sich bewegen. Ein Bild dieser Lokomotive giebt Fig. 252.

Auch haben die Versuche gezeigt, dass es möglich sein wird, die Zahnschienen ganz fort zu lassen, also mit reiner Adhäsion zu fahren.

Das elektrische Schleppsystem befindet sich zur Zeit noch in seiner Entwickelung, dürfte aber beim Ausbau unserer Wasserstrassen noch ein gewaltiges Wort mitreden. Einige weitere Litteratur hierüber befindet sich in der Z. d. V. d. Ing. 1899, Heft 36, S. 1112.

Gleislose Bahnen.

Unter dem Worte »Bahn« ist immer ein vorgeschriebener und seitlich eng begrenzter Weg zu verstehen, nicht aber die Bewegung auf beliebig grossen Flächen. Da man die obere Fläche der gewöhnlichen Fahrstrasse auch mit »Fahrbahn« bezeichnet, fällt es uns nicht schwer, im Vergleich zu den Worten Reitbahn, Kegelbahn, Radfahrbahn (oder besser Radbahn), welche auch eine seitlich begrenzte Strecke bezeichnen, die Bewegung auf begrenzter Strecke kurzweg als Bahn zu benennen. Der Begriff einer Bahn ist daher keineswegs an eine metallische Fahrschiene gebunden.

Neben der Bezeichnung des begrenzten Weges wird das Wort Bahn auch als Sammelbegriff für das ganze Unternehmen bezeichnet, denn man spricht: Ich gehe zur Bahn oder, ich gehe in die Reitbahn, und bezeichnet hiermit ausser dem Gleisweg, der Fahrbahn, dem Reitweg u. dergl. auch die Wagen, Pferde, kurz alle Anlagen, welche zur Fortbewegung dienen.

Nach diesen Erläuterungen darf die gleislose elektrische Bahn eine Verkehrsanlage bezeichnen, bei welcher die Wagen durch direkt zugeführten elektrischen Strom bewegt werden und vom Führer direkt oder indirekt in der Fahrrichtung beeinflusst werden.

Die Umwandlung bestehender Gleis-Kleinbahnen für elektrischen Betrieb hat sich auf solche Anlagen erstreckt, bei denen man durch die Umwandlung auf günstigere Betriebskosten kommen wollte.

Der Neubau von Kleinbahnen mit elektrischem Betrieb wird ebenfalls aus Gründen der Betriebsersparnis vorgesehen.

In jedem der genannten Fälle handelt es sich darum, grössere Kapitalien zu investieren, als bei den bisher üblichen Kleinbahnbetrieben (Dampf-, Pferde-Betrieb) nötig war. Es ist daher natürlich, dass man nur für stark frequentierte Bahnen elektrischen Betrieb vorsehen konnte, um wirtschaftliche Anlagen zu schaffen.

Es giebt nun noch eine grosse Anzahl von Bahnprojekten, die als solche niemals eine wirtschaftliche Höhe erreichen könnten, da den sehr hohen Anlagekosten, die durch Bau eines Schienenweges nötig werden, eine allzu geringe Verkehrsdichte gegenübersteht.

Das Kilometer eingleisiger Kleinbahn mit elektrischem Betrieb kostet je nach der Anzahl der erforderlichen Betriebsmittel, bezw. des einzuhaltenden Betriebsplanes 80000—120000 ℳ, während ähnliche Anlagen für Dampfbetrieb 60000—80000 ℳ für 1 *km* kosten. Die gleislose Anlage lässt sich mit 20—25000 ℳ pro Kilometer herstellen.

Die Verzinsung und Amortisation der geschaffenen Anlage ist natürlich nur allein abhängig von den Anschaffungswerten, während die reinen Betriebskosten durch den Umfang des Betriebsplanes bestimmt werden.

Eine fühlbare Lücke zwischen genannten Kleinbahnbetrieben und dem gewöhnlichen Fuhrbetriebe mittels animalischer Zugkraft bildet die elektrisch betriebene gleislose Bahn, welche billigere Betriebskosten aufweist, als der vom Pferde gezogene Wagen und welche in der Anschaffung einschliesslich allem Zubehör wesentlich billiger, als eine Kleinbahn ist, die etwa einen spärlichen Betrieb befriedigen müsste.

Der spezifische Stromverbrauch solcher Fahrzeuge ist der doppelte bis dreifache, gegenüber den Bahnfahrzeugen. Es werden also die Betriebskosten des einzelnen Gefährtes selbstverständlich höhere sein, als bei einem auf Schienen laufenden Fahrzeug, indess wird dieser Mehrverbrauch an Strom bei weitem nicht die Zinsen, Amortisationsquoten und Unterhaltung des Bahnkörpers u. s. w. erreichen. Somit wird der Effekt der denkbar günstigste sein, und es werden dadurch eine Menge heute nicht zu befriedigender Bedürfnisse gedeckt.

An Beispielen lässt sich feststellen, dass der Lastverkehr mittels besonderer Gleisbahn 4 mal grössere Anschaffungswerte erfordert hätte, als beim gleislosen Betrieb, während die Betriebskosten für die Einheit sich nur um die höheren Stromkosten erhöhen. Wenn die Betriebsverhältnisse sich ändern, d. h. wenn die Verkehrsdichtigkeit die 1—2stündige Intervalle übersteigt und die kapitalisierten höheren Stromkosten eine Gleisbahnanlage rechtfertigen, kann die gleislose Bahn der Pionier für die an gleicher Stelle später zu errichtende Gleisbahn werden. Für den später vorzusehenden Einbau des Bahnkörpers einer Kleinbahn lassen sich die Verhältnisse von vornherein zuschneiden.

Als ganz besonderen Vorteil muss man hervorheben, dass die Anlage einer gleislosen Bahn ein in der Nähe befindliches Elektrizitätswerk voll ausnützt und dieses ganz sicherlich rentabel macht, falls dasselbe vorher etwa kränkeln sollte. Selbst wenn man die Stromtransformierung durch stationäre Akkumulatorenbatterien vornehmen müsste, kann die Rentabilität durch den 15- bis 16-stündigen Tagesbetrieb wesentlich erhöht werden.

Der Wegfall von jeglichen Strassenbauten wirkt günstig auf die Baukosten ein.

Ganz besonders eignet sich dieses Verkehrsmittel in mässig ansteigenden Gebirgsthalstrassen und da, wo beispielsweise der Bahnhof einer Hauptbahn von dem betreffenden Ort oder der kleineren Stadt einige Kilometer entfernt ist, wo also durch einen spärlichen Bahnhofsverkehr die Anlage einer Schienenbahn nicht genügend ausgenutzt werden kann. Auch zur Verbindung zweier kleinerer Orte, in denen bereits Elektrizitätswerke bestehen, eignet sich diese gleislose Bahn des Verfassers.

Es giebt bei den elektrischen Bahnen Wagenkontakte für oberirdische Stromzuführungen, welche in weiten Grenzen horizontale und vertikale Abweichungen des Fahrdrahtes von der Fahrrichtung des Wagens gestatten. Daher wird es ohne weiteres möglich sein, auch dem schienenlosen Fahrzeuge den Betriebsstrom von aussen während der Fahrt ständig zuzuführen.

Auf eine Leitung des Betriebsstromes durch die Fahrschienen muss natürlich beim Fehlen derselben verzichtet werden, und es müssen beide Pole der Leitung oberirdisch geführt werden. Hierfür bietet die elektrische Kleinbahntechnik genügend Vorbilder, sodass man auf neue Anordnungen hierbei nicht stösst.

Der Gedanke, die Anlage durch Fortlassung des Schienenweges zu ermässigen, lag nahe, und so unternahm denn auch bereits im Jahre 1882 die Firma Siemens & Halske eingehendere Versuche, um seine Durchführbarkeit zu erproben. Zu diesem Zwecke wurde in der Umgebung Berlins eine Versuchsstrecke angelegt, auf welcher der in Fig. 253 dargestellte Wagen verkehrte. Wie das Bild erkennen lässt, wurde dazu ein leichter offener Jagdwagen benutzt; die Vorderachse war mit Lenkvorrichtung versehen worden und die Hinterachse wurde mittels Gliederketten von zwei unter dem Kutschersitz verborgenen Elektromotoren angetrieben. Die Stromzuführungsanlage bestand aus zwei seitwärts über der Strasse an Holzmasten aufgehängten Kupferseilen; auf diesen lief ein durch ein ziemlich schweres Gewicht gegen Kippen gesichertes achträderiges Wägelchen, welches vom Motorwagen mittels biegsamen Kabels nachgezogen wurde und die Stromentnahme besorgte.

Diese Versuche gerieten dann bei der angestrengten Thätigkeit, welche die schnell zunehmende Entwickelung der elektrischen Strasseneisenbahnen verlangte, in Vergessenheit.

Die Siemens & Halske'sche Idee liegt einer neueren Ausgestaltung zu Grunde, welche die französische Firma »Compagnie de traction par trolley automoteur« als ein elektrisches Bahnsystem mit oberirdischer Stromzuführung eingeführt hat und

welche ihre erste Ausführung mit der Eröffnung eines derartigen elektrischen Autowagenverkehrs im Wäldchen von Vincennes bei Paris fand.

In Deutschland wurde von der Firma Fr. Joh. Brandt-Berlin im Herbst 1900 eine Probestrecke: Bahnhof Eberswalde—Stadt Eberswalde in Betrieb gesetzt. Die Konstrukteure dieses französischen Systems sind Lombard-Gérin & Bonfiglietti, nach welchen die Benennung erfolgte und bekannt gegeben wurde.



Fig. 253.

Das Wesen des eigenartigen Kontaktapparates besteht beim Lombard-Gérin-System darin, dass der auf der Oberleitung rollende kleine Wagen einen kleinen Motor besitzt, welcher mit dem Motor des Fahrzeuges stets mit gleicher Geschwindigkeit, d. h. synchron, läuft, wodurch es möglich wird, dass der stromentnehmende Apparat stets vor dem Wagen läuft, ohne einen mechanischen Zug auf die Leitung auszuüben.

Die synchrone Bewegung der Motoren des Fahrzeuges und Kontaktapparates wird dadurch erreicht, dass der letztere seinen Strom auch vom Wagenmotor erhält. Der Motor des Kontaktapparates ist stets ein Dreiphasenmotor, und wenn der Wagenmotor mit Gleichstrom läuft, erhält die Welle dieses Motors drei Kontaktringe. Auf diese Weise kann, wie bekannt, aus jedem Gleichstrommotor Dreiphasenstrom entnommen werden. Der Synchronismus der Bewegungen beider Motoren ist somit gesichert.

Sc

Der Kontaktapparat in seiner endgiltigen Form ist in Fig. 254, 255 und 256 dargestellt.

Auf den zwei 8 *mm* starken Drähten AA rollen die auf die Welle fest aufgekeilten Kontaktrollen GG. Die Welle ist in der Mitte

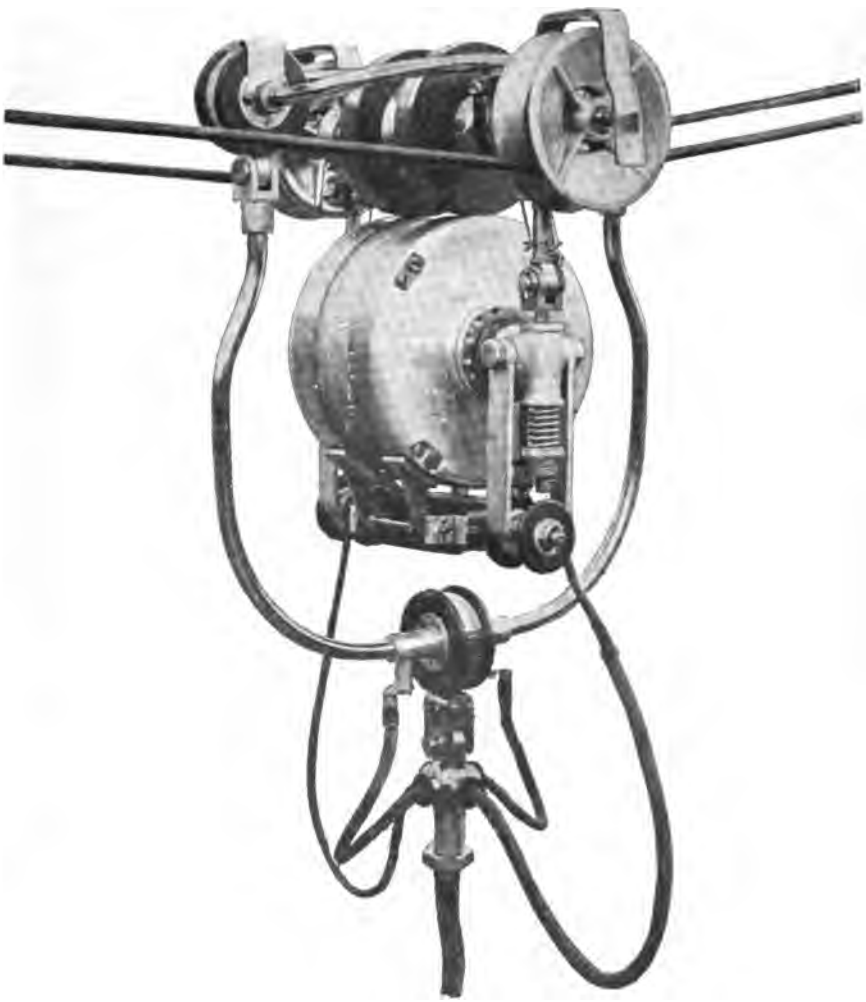


Fig. 254.

in zwei voneinander gut isolierte Hälften geteilt. Auf derselben Welle befinden sich zwei Friktionsscheiben aus Vulkanfiber.

Die Welle des Motors M ist mittels Universalgelenken auf der Welle der Kontaktrollen aufgehängt. Die Enden dieser Gelenke sind

mit einstellbaren Federn RR versehen, welche den Motor M an die Kontaktscheiben EE pressen. Der feste Teil des Motors M befindet sich im Innern, der rotierende Teil hingegen aussen. Wenn daher der Motor angeht, so setzt der rotierende äussere Teil des Motors durch Reibung der Scheiben EE und die mit denselben in Verbindung stehenden Kontaktrollen GG in Bewegung. Unter dem Motor sind die Bremsschuhe FF ersichtlich, durch welche mittels kleiner Elektromagneten der Motor gebremst werden kann. Dies ist z. B. notwendig auf einer stark abfallenden Strecke oder, wenn man den Kontaktapparat auf irgend einem bestimmten Punkte der Leitung, z. B. bei Weichen u. s. w., zum Stillstande bringen will.

Das biegsame Kabel ist mittels der aus leichten Röhren gebildeten Cardan'schen Aufhängung mit dem Kontaktapparat verbunden, sodass das Kabel vorwärts, rückwärts, rechts und links frei schwingen kann, ohne den Kontaktapparat in Mitleidenschaft zu ziehen. Das flexible Kabel bietet auch die Möglichkeit, dass der Wagen im Notfalle in ganz kleinem Bogen wenden oder unter den Leitungen ganz umkehren kann, ohne dass der Kontaktapparat hierbei eine schädliche Wirkung auf die Streckenleitung ausüben könnte.

Das Kabel enthält, falls Gleichstrom zur Verfügung steht, insgesamt sechs Leitungen, und zwar zwei, welche von den beiden Kontaktrollen zu den beiden Polen des Wagenmotors führen, ferner drei Leitungen, welche die drei Klemmen des Motors M mit den drei Schleifringen des Wagenmotors verbinden, die sechste Leitung endlich dient zur Bethätigung der Bremse des Motors M. Im Falle der Verwendung von Drehstrom muss die Anzahl der Leiter im Kabel um eine vermehrt werden.

Die Kontaktapparate zweier sich begegnenden Wagen können einander mittels der an dem fahrplanmässigen Begegnungsorte in die Oberleitung montierten Luftweiche ausweichen. Die Luftweichen sind den sogenannten automatischen Eisenbahnweichen ähnlich, sodass die Umstellung derselben überflüssig ist. Für den Fall, dass der entgegenkommende Wagen noch nicht zur Stelle sein sollte und auch dessen baldige Ankunft nicht in Aussicht ist, fährt der rechtzeitig eingetroffene Wagen weiter, da die Konstruktion des Kontaktapparates gestattet, dass zwei in entgegengesetzter Richtung verkehrende Fahrzeuge auf einem beliebigen Punkte der Strecke ausweichen. Die beiden sich begegnenden Wagen stellen sich nämlich am Orte der Begegnung nebeneinander, während die beiden Wagenführer von ihrem Stande aus die Stange mit der Contactbuchse umlegen, den im Steckkontakte endigenden Teil des Kontaktkabels herausziehen und die beiden Kabel gegenseitig austauschen, worauf jeder Wagen seinen Weg fortsetzen kann. Fig. 257 zeigt die Pariser Ausstellungsbahn nach diesem System.

Die Dresdener Wagenbau-Anstalt Stoll hat das vorstehende System wieder nach der von Siemens & Halske angegebenen Methode vereinfacht, indem der motorische Antrieb des Kontaktapparates in Wegfall kommt und der Kontaktwagen von der Leitungsschnur nachgezogen wird. Dadurch erfolgt auf der einen Seite zwar eine wesentliche Vereinfachung, auf der anderen aber eine Mehrbeanspruchung der Fahrdrähte. Marcher will den Antrieb des Kontaktwagens mechanisch dadurch bewirken, dass mittels einer vom Wagen gedrehten elastischen Spiraldrahtwelle der Kontaktwagen bewegt wird.

Bei einem von dem Verfasser dieses Werkes ausgebildeten System elektrischer Bahnen mit Oberleitung wird im wesentlichen der Strom aus den Fahrdrähten mittels entsprechender Kontaktstücke, die der Dikinsonrolle ähnlich sehen, entnommen.

Die ersten Proben, welche für diese neue Stromzuführung gemacht wurden, erfolgten an dem in Fig. 258 dargestellten Oberleitungs-Revisionswagen. Derselbe erhält, wie ersichtlich, einen Stromabnehmer nach Art der Dikinson'schen Rolle, welche sich um ein vertikales und horizontales Gelenk bewegt und mittels eines einfachen Kontaktstückes an der Oberleitung anliegt. Da dieser Wagen bei einer Gleisbahn Verwendung fand, musste der Schienenpol durch einen geeigneten Schienen-Stromabnehmer gefasst werden. Auch dieser bestand in einer Rolle, ähnlich der Dikinson-Fahrdraht-Kontaktrolle, welche dem Wagen nachgezogen wurde und sich leicht in die Schienenrille einlegen liess. Es zeigte sich, dass dieser Kontakt dem Gleise sehr gut folgte und dass er bei entsprechendem Gewicht genügte, um auf sauberer Schiene Kontakt für den Fahrstrom herzugeben. Es ist bei diesen Gefährten möglich, unter einer beliebigen Stelle der Bügelleitung herzufahren und auch den Wagen so weit vom Gleise abzubringen, dass der Strassenbahnbetrieb nicht gestört wird. Es konnten seitliche Abweichungen von der Mitte des Gleises bis zu 3 *m* vorgenommen werden, und somit zeigte sich der elektrisch angetriebene Montage- und Revisionswagen in der Praxis verwendbar. Aus der Erfahrung dieses Versuchsgefährtes ist der in Fig. 259 schematisch dargestellte Wagen entstanden, welcher gestattet, unter Vorsehung eines Stromabnehmers, wie vorher, ebenso leicht das Gleis zu verlassen, wie er durch die angedeuteten Schienen-Kontakträder im Gleis sicher geführt wird. Sobald dieser Wagen Spur hält, braucht die Lenkung nicht bethätigt zu werden. Wenn indess die Spurräder ausgehoben werden und der Schienenkontakt eingelegt wird, so ist der Wagen selbstbeweglich auch neben dem Gleis, wie das vorherige Gefährt. Die Lenkbarkeit des Revisionswagens von der oberen Plattform besitzt den weiteren Vorteil, dass ein Bedienungsmann gespart werden kann und dass eine ganz bestimmte Stelle unter dem Fahrdraht erreicht werden kann, was bei der Fort-

bewegung durch Pferde und Menschenhand nicht in dem Masse möglich ist.

Im Jahre 1898 wurde von Siemens & Halske der in Fig. 260 dargestellte kombinierte Gleis- und gleislose Wagen erbaut und in Betrieb gesetzt, ohne typisch geworden zu sein. Derselbe wurde nach dem sogenannten gemischten Oberleitungs- und Akkumulatorensystem betrieben und sollte einen Übergang zwischen den elektrischen Strassenbahnen und den Omnibussen bilden. Hier ist ersichtlich, dass das Gefährt sowohl unter einer gewöhnlichen elektrischen Strassenbahnleitung mittels des auf dem Dache befindlichen Bügelkontaktes Strom entnehmen kann, wenn durch die unten befindlichen Spurräder die Zwangsläufigkeit mit dem Schienenwég gewährleistet wird. Die Spurräder können bei der Fahrt auf Strassenbahngleisen herabgelassen werden, führen so den Wagen auf dem Schienenwege und nehmen Kontakt von der Erd- bezw. Schienenleitung. Durch Schienen und Oberleitung wird die im Wagen befindliche Akkumulatorenbatterie geladen, damit dieselbe auf der gleis- und stromleitungslosen Strecke den Wagen weiter treiben kann. Der Mangel dieses Systems liegt in dem Mitführen schwerer Akkumulatorenbatterien, die das Strassenpflaster durch ihr Gewicht allzu sehr beanspruchen, abgesehen von den Mängeln der bewegten Akkumulatorenbatterien überhaupt.

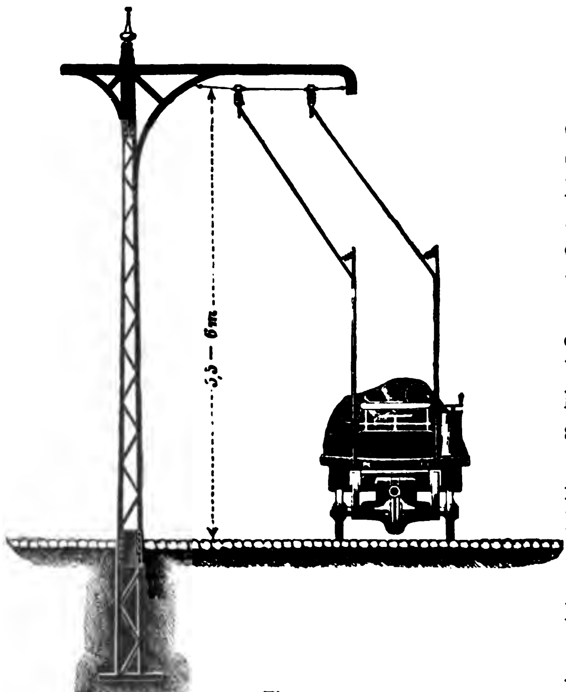


Fig. 261.

Die Stromzuführung zu dem in Fig. 261 dargestellten Motorwagen erfolgt durch Kontaktvorrichtungen, die ein seitliches Abweichen des Wagens vom Stromzuführungsdraht um 3 *m* gestatten, sodass es ebenso möglich wird, mit diesen Gefährten jedes andere Gefährt zu überholen oder demselben auszuweichen. Begegnen sich zwei an

derselben Stromleitung fahrende elektrische Wagen, so wird durch Abziehen der Kontakte auch hier ein Ausweichen erreicht. In Fig. 262

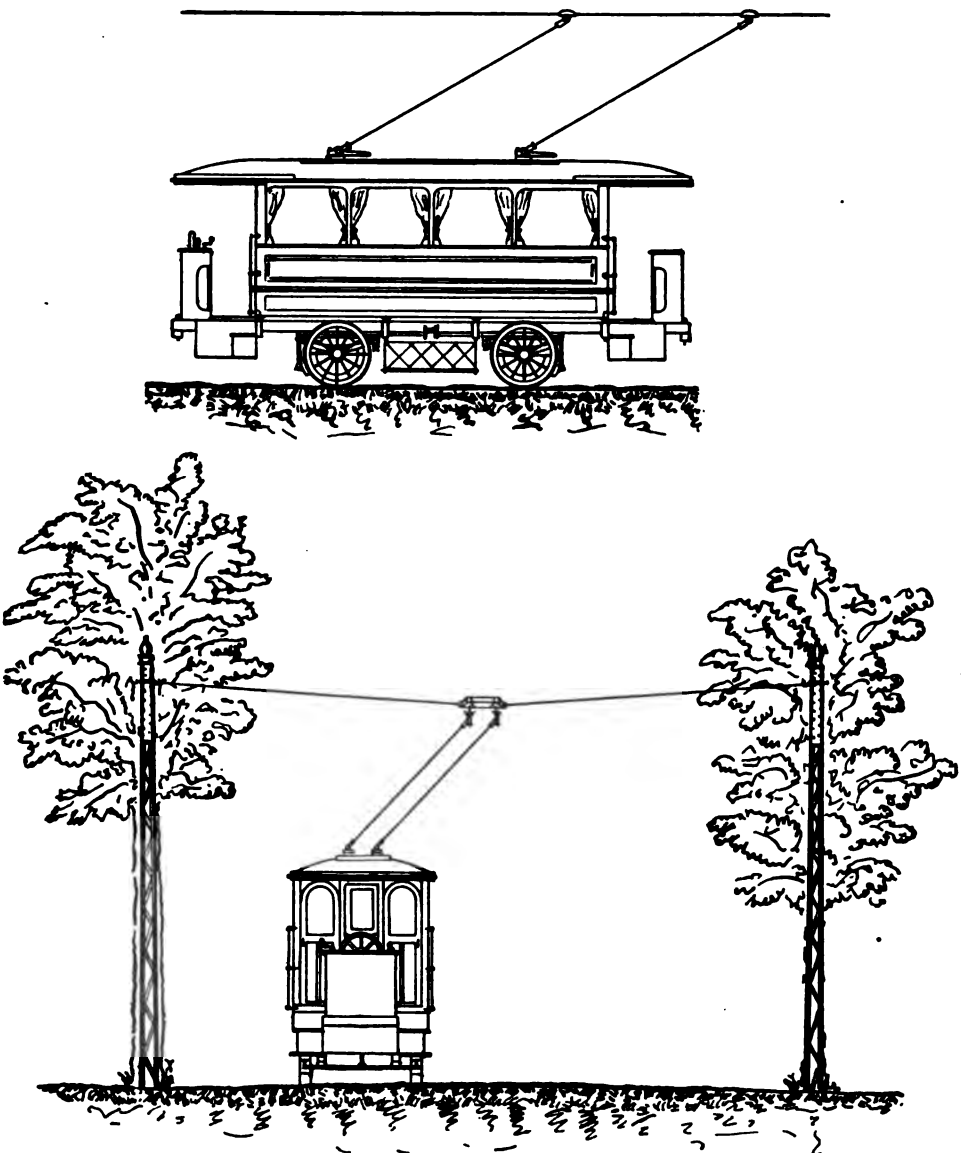


Fig. 262.

ist Längsansicht eines Personenwagens und Querschnitt der Strecke mit ausgewichenem Wagen dargestellt.

Fig. 263 zeigt einen Güterzug, bestehend aus einer Stückgutlokomotive und einem angehängten Lastwagen. Der symmetrische Bau der Betriebsmittel begünstigt ein leichtes An- und Abkuppeln von Lastfuhrwerken und gestattet, in engen Fabrikhöfen und mit

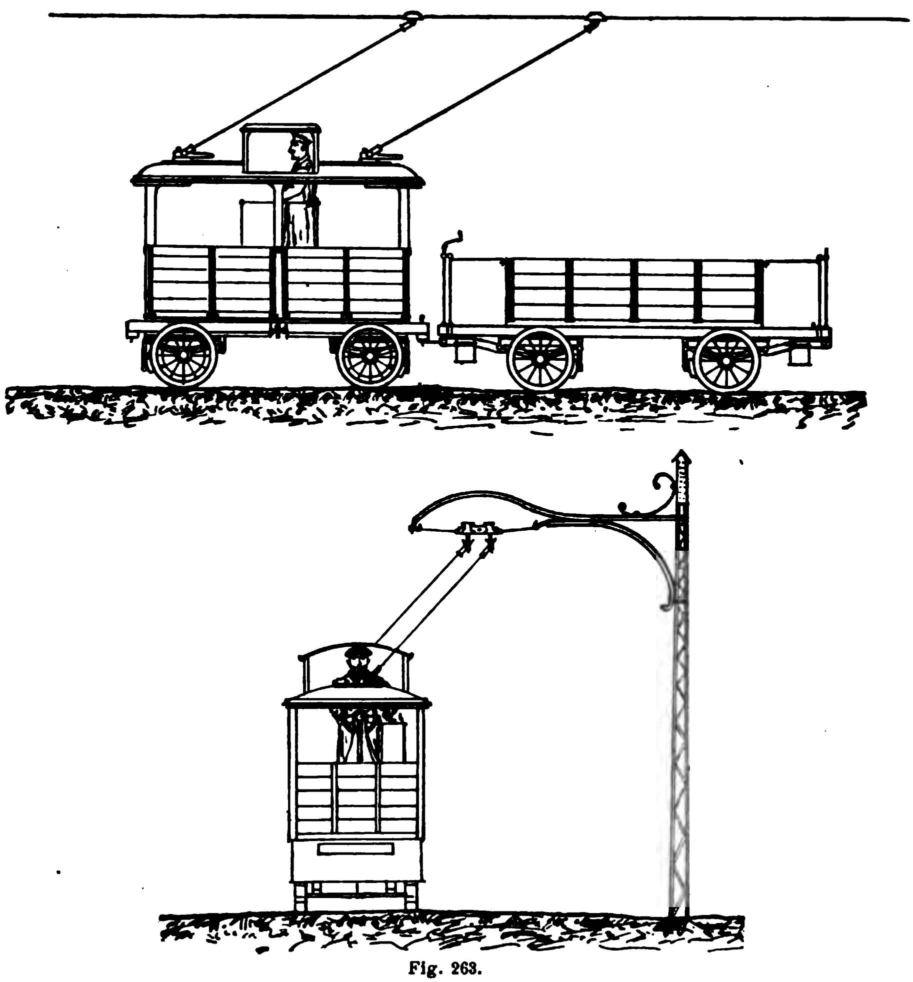


Fig. 263.

beschränkten Raumverhältnissen auf Güterbahnhöfen zu rechnen. Aber auch gewöhnliche Fuhrwerke, welche bisher bei animalischem Betrieb Verwendung fanden, können angehängt werden, wenn man an Stelle der Deichsel ein entsprechendes Kuppelungsstück zwischenschaltet.

Die Bewegungsfreiheit des Wagens ist bei der hier angewendeten Stromzuführung nicht so gross, wie bei den vorgenannten Systemen. Da aber die Strassen, auf denen ein derartiger Wagen laufen soll, im allgemeinen keine breitere Fahrbahn als 7–8 *m* besitzen, genügt es vollständig, wenn zu beiden Seiten des über Strassenmitte hängenden Fahrdrahtes eine Ausweichung von 3 *m* möglich ist. In der Fig. 264 ist gezeigt, wie der Wagenkontakt seitlich ausweicht. Die Praxis hat gelehrt, dass diese Ausweichung vollkommen genügt, um entgegenkommenden Wagen auszuweichen und mitfahrende Wagen zu überholen (Fig. 265).



Fig. 264.

Das Fehlen einer festen Spurbahn giebt die Strasse dem allgemeinen Verkehr wieder zurück und die gute Lenkbarkeit des Wagens gestattet die Einhaltung der Fahrvorschriften gewöhnlicher Fuhrwerke.

Nach diesem System ist die elektrische gleislose Motorbahn im Bielathal zwischen Königstein a. E.—Hütten—Bad Königsbrunn ausgeführt und am 10. Juli 1901 eröffnet worden. Dieselbe dient sowohl dem Personenverkehr, als auch einer Frachtenbewegung zwischen dem Elbquai und dem Güterbahnhof in Königstein einerseits und dem



Fig. 265.

industriereichen Dorfe Hütten anderseits. Die Verlängerung der Bahn nach dem herrlich gelegenen 11 *km* entfernten und 270 *m* höher gelegenen Luftkurort »Bad Schweizermühle« steht bevor.

Dem lokalen Güterverkehr kann bei gleisloser Bahnanlage besonders dadurch äusserst günstig Rechnung getragen werden, dass



Fig. 266.

die Anschlüsse in die Fabriken und Magazine ohne besondere Bauten bewirkt werden können. Es genügt, eine doppelpolige Fahrdrahtleitung vom nächsten Mast aus abzuzweigen, um jedes Anschlussbedürfnis befriedigen zu können, während die Anlage von Anschlussgleisen bekanntlich sehr oft mit Schwierigkeiten verknüpft ist. Die Fahrgeschwindigkeit auf der Bielathalbahn ist 12 *km*/Std. für die Personen- und 8—10 *km* für die Güterwagen.

Fig. 265 zeigt das Überholen eines gewöhnlichen Strassengefährtes bei 3 *m* seitlicher Ausladung und Fig. 266 stellt dar, wie zwei Motorwagen aneinander vorbeifahren, indem der eine seine Kontakte abzieht und abwartet, bis der andere vorüber ist, um wieder anzulegen. Der Einbau von Weichen erübrigt sich hierdurch vollständig. Das Umdrehen eines Wagens am Endpunkt zeigt Fig. 267.



Fig. 267.

Die erste Aufgabe, welche für dieses System zu lösen war, galt einem geeigneten Fahrkontakte. Als Vorbild hierfür diente, wie bereits erwähnt, die Dikinsonrolle, welche besonders in England bei Gleisbahnen viel eingeführt ist und sich dort gut bewährt hat. Die durch die Konstruktion der Kontaktrolle bedingten schrägen Flanschen liessen indess die Kontaktsicherheit bei grosser seitlicher Ausladung nicht

erreichen, deswegen wurde ein um eine horizontale und vertikale Achse drehbarer Schleifschuh gewählt. Die lange Schleiffläche ist mit einem gutleitenden, weichen Material ausgefüllt, um zu verhindern, dass sich durch den Schleifkontakt der Fahrdraht abnutzt. Ausserdem befinden sich in dem Schleifbett des Kontaktschuhes Schmiernuten, welche ein konsistentes Fett enthalten. Durch die eigenartige Federung des nach hinten überhängenden Löffels kommt stets die ganze Fläche zum Anliegen. Das Anlegen des Kontaktschuhes an den Fahrdraht erfolgt äusserst leicht, weil man es beim



Fig. 268

Schleifstück in der Hand hat, eine obere breite Gabel vorzusehen. Bei der Rolle ist dies unmöglich, falls man in brauchbaren Dimensionen bleiben will.

Der Wagenkontakt ist in Fig. 268 dargestellt.

Die Kontaktstange ist mitsamt der Hauptdruckfeder um einen vertikalen Zapfen drehbar, sodass also Kontaktschuh und Wagen stets parallel bleiben können. Die Kontaktstangen sind um die Fahrdrahtentfernung von 50 *cm* gegeneinander versetzt. In der Längsrichtung sind die Kontaktstangen soweit auseinander gesetzt, dass beim Drehen des Wagens die Federböcke nicht aneinander stossen können.

Beim Umdrehen des Wagens brauchen die Kontaktstangen während des Wendens nicht vom Fahrdraht abgenommen zu werden, sodass also mit Strom gewendet werden kann.

Eine neue Wagentype mit symmetrischer Bauart erübrigt das Umdrehen vollständig.

Die Oberleitung weicht nur wenig von der üblichen Bauart ab, nur an der Konstruktion der Isolatoren waren einige Sonderheiten erforderlich, um einmal die Montage zu erleichtern und zweitens den hier verwendeten achtförmigen Profilfahrdraht besonderen Klemmstücken anzupassen. Bei der Bielathalbahn ist die unter Gebrauchsmusterschutz No. 152 600 stehende Keilöse für die Fahrdrahtklemmung verwendet worden und hat sich bewährt. Sie besteht aus einem einteiligen Backen, in welchen Längsnuten eingefräst sind, die den Profilfahrdraht ohne Zuhilfenahme von Schrauben oder Lötungen fassen. Im übrigen aber kann die Massenfabrikation von Strassenbahn-Oberleitungsteilen hier volle Ausnutzung erfahren.

Die Verwendung des Profildrahtes und der Keilöse gestattet es, die Fahrdrahtleitung so zu montieren, dass der Fahrdraht sich durch seine Aufhängungskonstruktion frei durchbewegen kann, wodurch ein selbstthätiger Temperaturausgleich bis zum Verankerungspunkt ermöglicht wird. Die Fahrdrahtisolatoren sind paarweise durch starre schmiedeeiserne Flachschienen, welche die Isolatoren umfassen, verbunden. Einmal wird hierdurch der gleiche Abstand des Fahrdrahtes bei der Montage gesichert, zum anderen aber wird jedes Drehmoment, welches durch Kurven oder seitliche Beanspruchung des Kontaktes an den Isolatoren auftritt, durch das starre Verbindungsstück aufgehoben. Man kann also denselben Isolator in der geraden Strecke, als auch in der Kurve installieren. Weichen und Abzweigungen bieten nicht grössere Schwierigkeiten, als bei doppelpoligen Fahrdrahtleitungen überhaupt, jedoch dürfte es kaum nötig werden, derartige Konstruktionen vorzusehen, weil die gleislose Motorbahn immer nur bei einem spärlichen Betrieb Anwendung findet und ein Begegnen zweier Wagen zu den Seltenheiten gehört. Abzweigungen von der Hauptstrecke werden dadurch hergestellt, dass eine kurze zweite doppelpolige Fahrdrahtleitung neben der durchgehenden verlegt wird. Will man in die Abzweigung übergehen, so brauchen die Kontakte nur an diese Abzweigleitung angelegt zu werden.

Für eine geeignete Federung des Wagens ist Sorge zu tragen. Eine zu harte Federung macht das Fahren unleidlich und giebt Veranlassung, dass der Wagen und seine Einrichtung sehr bald klapprig wird, eine zu weiche Federung bewirkt ein Schlagen des Fahrdrahtes, weil der Kontakt durch die Unebenheiten des Weges leicht in seit-

liche Schwankungen gerät. Hier die geeignete Kombination zu finden, bedurfte eingehender Studien. Durch geeignete Kombination von Blatt- und Spiralfedern ist das gewünschte Ziel für die neueren Wagentypen erreicht worden.

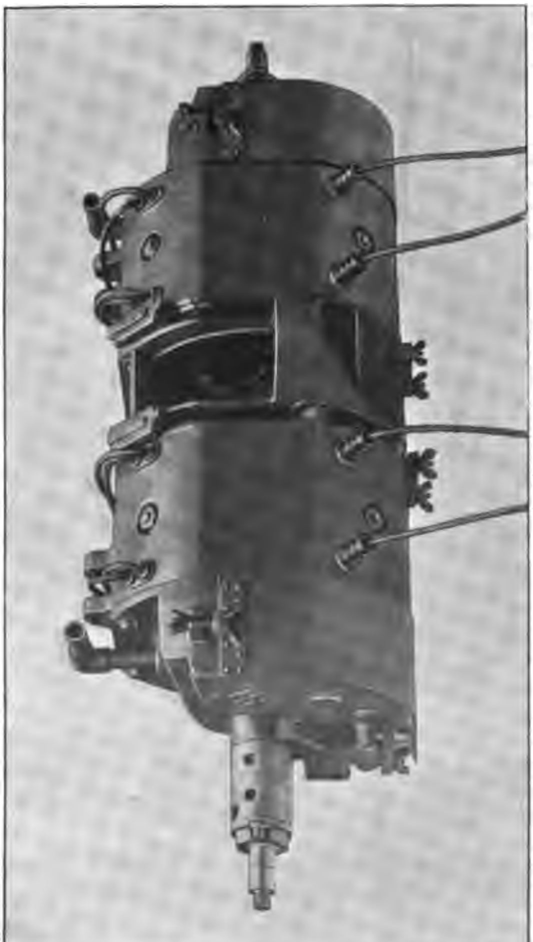


Fig. 269.

Die zur Zeit auf der Bielathalbahn im Betrieb befindlichen Fahrzeuge ähneln im allgemeinen den Omnibustypen für Pferdebetrieb.

Die Antriebsräder haben einen Durchmesser von 1,1 *m* bei einer Felgenbreite von 10 *cm*. Die Spur ist 1,5 *m*. Die Räder

werden durch Doppelmotoren bewegt. Die Zahnradübersetzung ist 1 : 10.

Die Wagen enthalten 18 Sitzplätze und 6 Stehplätze auf dem Hinterperron. Der Vorderperron ist dem Führer allein vorbehalten, um seine Aufmerksamkeit nicht zu stören. Die Innenbeleuchtung erfolgt durch vier an Wandarmen angebrachte Glühlampen, der Fahrweg wird durch eine am Schutzblech des Vorderperrons befestigte starke Reflektorlampe belichtet.

Je zwei zu einer Achse gehörige Motoren sind vermittels eines Verbindungsrahmens zu einem Ganzen fest verschraubt und um jene Achse pendelnd aufgehängt (vergl. Fig. 269).

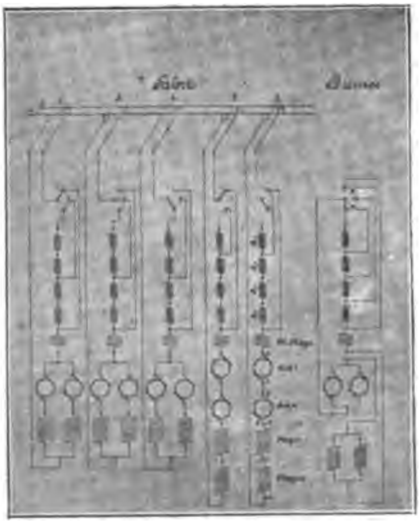


Fig. 270.

Die Lenkung der Omnibusse wird durch Drehung des ganzen Vordergestelles bewirkt. Zwischen den Kranz des Drehschemels und seiner Gegenlauffläche am Wagenkasten sind Kugeln eingeschaltet, sodass rollende Reibung statt der üblichen gleitenden Reibung geschaffen wird. Hierdurch ist erzielt, dass man den Omnibus während der Fahrt mit einem Handrad von 60 *cm* Durchmesser bequem mit einer Hand lenken kann. Die mechanische Bremse wirkt nur auf die beiden Hinterräder, vor denen Sandstreuer angebracht sind. Für gewöhnlich wird die elektrische Kurzschlussbremse benutzt, die durch den Führer bequemer bedient werden kann, weil sie durch den Hebel des Fahrschalters bethätigt wird.

Die Schaltung der Motoren auf Vorwärtsfahrt, Kurzschluss- und Gegenstrombremse, Rückwärtsfahrt wird durch den Fahrschalter bewirkt. Die verschiedenen Geschwindigkeiten werden durch Hintereinander- oder Parallelschalten der Motoren erreicht.

Fig. 270 zeigt das Schaltungsschema, welches im allgemeinen denen an Strassenbahnwagen ähnelt (vergl. Bau und Betrieb elektrischer Bahnen, I. Band, vom Verfasser), und Fig. 271 giebt den Leitungsplan zur Darstellung.

Die Zuleitung des Stromes von der Oberleitung erfolgt durch die beiden Stromabnehmer, von welchen die Leitung durch den auf

en
ır-

on
ts-
eit
in-
je
al-
ɔei

ıhe
25
ɜre
bei
er-
ɜis-
g/t
be-
.ch
elt

werc
ist 1

Hint
um
erfol
weg
starl

Verb
Achs



trisch
bedie
bethä

Gege
bewi
einan

dene
trisch
Leitu

die b

dem Dache angebrachten Blitzableiter über Sicherungen und für den Führer leicht erreichbaren Starkstromautomaten nach dem Fahrschalter geht.

Die Bielathalbahn besitzt eine durchschnittliche Steigung von ca. $25^0/_{00}$; sie ist sehr kurvenreich, benutzt aber sehr gute Staatschaussee. In Königstein selbst ist Steinpflaster. Die Hebungsarbeit ist 25 *kg* für die Tonne. Die innere Reibung des Wagens einschliesslich des Bahnwiderstandes ist mit 25—30 *kg* pro Tonne je nach Beschaffenheit der Strasse gemessen worden, sodass die Thalfahrt fast ohne Stromverbrauch erfolgt. Eine Gleisbahn würde bei

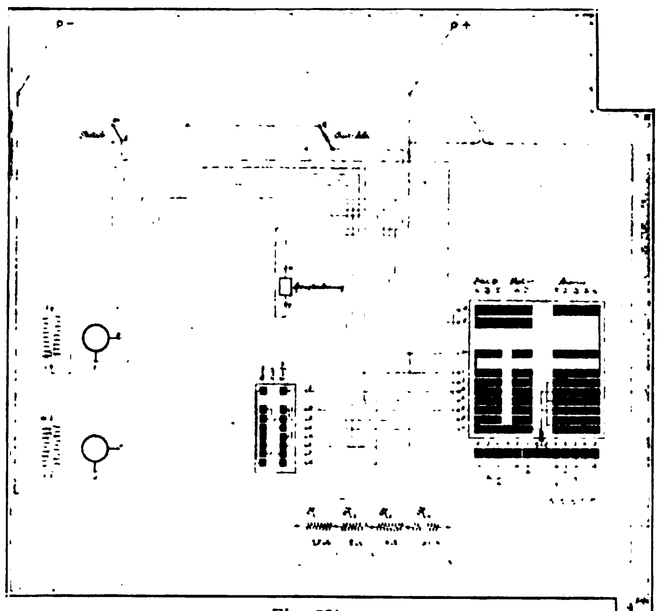


Fig. 271.

der Bergfahrt und in der geraden Strecke eine durchschnittliche Zugkraft von 12 + 25 = 37 *kg* verbrauchen, während hier 25 + 25 = 50 *kg* erforderlich sind. Bei der Thalfahrt müsste die erstere 25 — 12 = 13 *kg* in der geraden Strecke abbremsen, während bei der gleislosen Bahn 25 — 25 = 0 *kg*, also keine Bremsung erforderlich ist. Hierzu kommt, dass die vorhandenen Kurven bei der Gleisbahn einen höheren durchschnittlichen Traktionskoëffizienten als 12 *kg*/*t* ergeben würden, während hier die Kurven ohne Mehrleistung befahren werden. Der spezifische Stromverbrauch stellt sich nach dreimonatlichem Durchschnitt bei der Bielathalbahn nur etwa doppelt

so hoch, wie bei einer Gleisbahn. Dieser Mehrstromverbrauch bedeutet in diesem Falle nur etwa den zehnten Teil desjenigen Betrages, welcher für die Gleis- und Strassenbauanlage an Zinsen, Amortisation und Erneuerung aufzuwenden wäre. Hieraus erklärt sich der wirtschaftliche Vorteil gleisloser Bahnen trotz ihres spezifisch höheren Stromverbrauches. Natürlich gilt dieses Exempel nur dann, wenn der Verkehr spärlich ist. Bei grossem Verkehr wird eine Gleisbahn anzulegen immer rentabler sein.



Fig. 273.

Fig. 272 zeigt das Bild eines symmetrisch gebauten Personengefährtes, wie dasselbe für die Turiner gleislose Ausstellungsbahn 1902 ausgeführt wurde.

Die neueren Wagentypen der gleislosen Bahnen müssen einerseits die Formen der Strassenbahnwagen mit Gleisbetrieb befolgen und benutzen anderseits die hundertjährigen Erfahrungen des allgemeinen Stellwagenbaues.

Während sich die vorher beschriebenen Motoromnibusse in ihrer Form an die gebräuchlichen Pferdeomnibusse anlehnten, nur eine drehbare Vorderachse besassen, die, um unter dem Wagenkasten weggedreht werden zu können, kleinere Räder, als die Hinterachse erhielt und bei denen der Eingang in den Wagenkasten vom Hinter-

perron aus stattfand, hat man es für die neueren Typen vorgezogen, den Oberleitungsomnibus ähnlich den Strassenbahnwagen symmetrisch zu bauen und an seinen beiden Enden mit Perron und Führerstand zu versehen.

Der Wagen besteht daher aus einem den wagenbaulichen Verhältnissen angepassten Kasten und, gesondert von diesem, aus zwei Untergestellen, die als Drehgestelle ausgebildet sind. Die Konstruktion dieses Untergestelles musste sich neuen Verhältnissen anpassen, da gerade dieses das Übergangskonstruktionsstück zwischen gleislosem Betrieb und Gleisbetrieb bildet.

Das Untergestell, wie es Fig. 273 zeigt, besteht aus einer 100 *mm* starken Achse aus Siemens-Martin-Stahl. An den Enden dieser Achse sind die mit eisernen Naben versehenen Räder elastisch gekuppelt und so aufgepasst, dass sie sich frei auf denselben drehen können, je nach der Kurvenfahrt.

Eine einfache Verbindung dieser Drehschemel ermöglicht ein gleichzeitiges radiales Einstellen beider Achsen in Kurven, was den Vorteil mit sich bringt, dass man gegenüber den alten Konstruktionen nur mit dem halben Wendewinkel der Achsen auskommt. Ferner kann man viel geschickter kleinere Kurven befahren, da die Räder der Hinterachse genau mit den Rädern der Vorderachse Spur halten und so z. B. ein Abzweigen senkrecht von der Hauptstrasse in engen Seitenstrassen oder engen Fabrikhof leichter ermöglicht wird, ohne befürchten zu müssen, dass das hintere Ende des Wagens gegen eine Bordschwelle oder einen Prellstein anläuft. Schliesslich gestattet diese neue Bauart die Ausführung gleich grosser Räder für beide Achsen, was den Vorteil bietet, dass einmal die Achsen gegeneinander ausgewechselt und ferner vollständig gleiche Motoren zum Antrieb der Achsen verwendet werden können.

Das Prinzip der leichten Auswechselbarkeit ist auch auf die ganzen Drehschemel ausgedehnt worden, sodass es möglich ist, in ganz kurzer Zeit nach Wegnahme einiger Bolzen und Anheben des Wagenkastens einen genau gleichen Reservedrehschemel unter den Wagen zu bringen, falls einer von beiden irgendwie beschädigt sein sollte.

Die Übertragung der Last des Wagenkastens auf die Drehschemel erfolgt durch vier im Kreise angeordnete senkrecht stehende Rollen, während vier wagerecht liegende Rollen die Führung übernehmen.

Diese Anordnung der Lastübertragung lässt im Gegensatz zu der öfters angewendeten Drehzapfenanordnung den mittleren Teil des Drehschemels für den Hauptbremshebel frei, sodass das Anziehen der Bremse die Einstellung der Drehschemel in Kurven nicht beeinflusst.

Die Federung des Wagens ist gleichfalls in die Drehschemel gelegt. Eine gute Federung ist erreicht durch Verwendung langer Blattfedern, welche auf den Achsbuchsen ruhen und an ihren Enden mittels Kegel-Federn die Last tragen. Letztere Federn sind geeignet, die kleineren Stösse und Zitterbewegungen aufzunehmen, während die Blattfedern die eigentliche sanfte Abfederung ergeben.

Entgegen der früheren Anordnung des Antriebes, bei welchem jedes Rad der Hinterachse und eventuell auch der Vorderachse durch einen Motor besonders angetrieben wurde, während die Achse feststand, wird der motorische Antrieb jetzt dadurch vereinfacht, dass je ein gleicher Motor die Vorder- und Hinterachse selbst antreibt. Die Räder können entweder einzeln oder beide gleichzeitig mit der Achse gekuppelt sein.

Naturgemäss ist der Wagen leichter zu drehen, wenn nur die beiden Räder der einen Seite angetrieben sind und diejenigen der anderen Seite lose auf den Achsen sitzen. Es wird diese Anordnung stets genügen, so lange es sich nicht darum handelt, schwere Anhängewagen zu ziehen. Im letzteren Falle werden zweckmässig zur Vergrösserung der Adhäsion die beiden Räder mit der Achse gekuppelt, wobei man den zur Lenkung erforderlichen grösseren Kraftaufwand gern in Kauf nimmt, weil es sich hierbei um geringere Fahrgeschwindigkeiten handelt.

Die Räder erhalten eiserne Naben, hölzerne Speichen und Felgen, sowie einen eisernen Radkranz.

Die Erfahrung hat gelehrt, dass die früher verwendeten Gummireifen unnötig sind und dass man dieses sowohl in der Anschaffung als auch in der Unterhaltung ausserordentlich teuere Radreifenmaterial entbehren kann. Die eisernen Reifen greifen unter Zuhilfenahme des auf dem Wagenkasten angeordneten Sandstreuers, selbst bei sehr schlüpfrigem Boden erfahrungsgemäss sicher ein.

Die Achsen drehen sich in Patentkugellagern, um die Betriebskosten auf ein Minimum zu beschränken, weniger aus dem Grund, um an Kraft zu sparen. Der Hauptvorteil des Kugellagers gegenüber dem gewöhnlichen Lager besteht darin, wenig Schmierung zu gebrauchen. Neben dem Kugellager kann die Achse mit Excentern versehen werden, welche die Fortbewegung des Wagens dann übernehmen, wenn die Adhäsionsverhältnisse zwischen Rad und Schiene zur Fortbewegung nicht mehr ausreichen, wie z. B. bei Schnee und Glatteis.

Die Fortbewegung auf Schnee- und Eisdecke erfolgt ausserdem auch durch Hanfbewickelung der treibenden Radfelgen oder durch geeignete Querriefelung der Radbandagen. Hierbei muss natürlich die Bremsung an besonderen Achsscheiben erfolgen.

In der Mitte der Achse befindet sich das Tatzenlager für den im Schwerpunkt aufgehängten Elektromotor und an einer Seite dieses Motors das Grisson-Zahnradgetriebe. Dieses letztere besteht aus einem auf der Achse befindlichen Rollenrade und einem auf der Ankerachse befindlichen Daumenrad. Das Übersetzungsverhältnis dieses Getriebes ist 1 : 10 bei einer Achsenentfernung von 308 *mm*. Es ist mit diesem Getriebe möglich, ein derartig hohes Übersetzungsverhältnis zu erreichen, wogegen bei Zahnrad ein doppeltes nötig wäre.

Der Bodenrahmen des Wagenkastens wird durch zwei hölzerne Längsträger und die erforderlichen Querbalken gebildet. An den Stirnenden ist wie bei allen neueren Strassenbahnwagen je eine gebogene Rammbohle angebracht, was einen wesentlichen Vorteil gegenüber der früheren Wagenkastenkonstruktion bedeutet. An dieser Rammbohle ist auch die Kuppelungsvorrichtung für eventuell zu schleppende Anhängewagen angeordnet.

Auf den Bodenrahmen kann nun der eigentliche Wagenkasten in beliebiger Form aufgebaut werden, indem die jeweilig erforderlichen Stiele mit den Holzrahmen in geeigneter Weise verbunden werden.

So können offene Plattformwagen ohne Dach, offene Plattformwagen mit Dach für Gütertransport, wie einen solchen Fig. 274 darstellt, offene, halb und ganz geschlossene Personenwagen mit Längs- oder Quersitzen ausgeführt werden. Im allgemeinen wird an der Ausbildung zweier Endperrons mit Führerstand festgehalten.

Bei den geschlossenen Personenwagen werden zweckmässig zwei Abteile mit Quersitzen und ein Mittelperron eingerichtet; letzterer erhält je nach Wunsch noch Klappsitze. Auf diese Weise entsteht der normale Personenomnibus mit 14 Sitz- und 12 Stehplätzen bezw. 18 Sitz- und 8 Stehplätzen.

Erwähnt sei nebenbei, dass die Anbringung verschliessbarer Kasten für Postsachen keine Schwierigkeit bietet.

Der Antrieb der Achsen geschieht durch Elektromotoren, welche in den Drehschemeln aufgehängt sind und mittels Vorgelege die Achse antreiben. Die Motoren besitzen ein allseitig geschlossenes Gehäuse, sodass das Innere derselben vor Staub und Nässe geschützt ist. Die Vorgelege sind ebenfalls zum Schutz und zwecks guter Schmierung in einem Radkasten eingeschlossen.

Jeder Führerstand ist mit einem Fahrschalter ausgerüstet.

Die Anordnung der Kabelleitungen, Sicherungen, Starkstromausschalter und Beleuchtung, sowie der Stromabnehmer ist im allgemeinen dieselbe wie bei Strassenbahnwagen.

Die beiden Stromabnehmer für die Hin- und Rückleitung (mit Gleitschuh oder Rolle) sind auf dem Wagendach befestigt. Dieselben

befinden sich nicht in der Längsmittelachse des Wagens, sondern

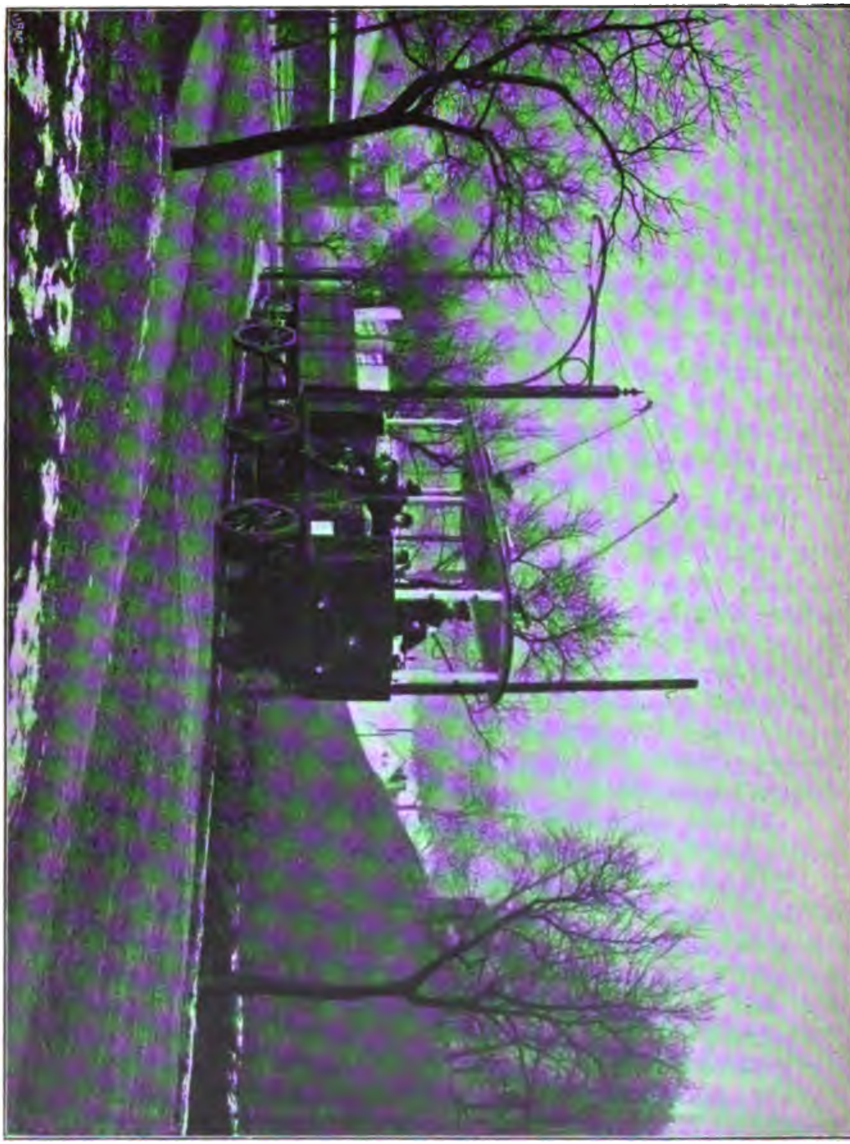


Fig. 274.

sind dem Abstand der Arbeitsdrähte entsprechend gegeneinander versetzt.

Erfahrungsgemäss kann der mit geeigneten Stromabnehmern ausgerüstete Wagen sich nach jeder Seite etwa 3 *m* von der Mittelachse der Leitungsanlage entfernen und auch ohne Umlegen der Kontaktstangen auf kurze Strecken rückwärts fahren.

Die Fig. 274 zeigt einen Güterzug der Bielathalbahn. Der als Stückgüterwagen ausgebildete Motorwagen zieht hier einen mit 4–5 *t* beladenen Anhängewagen. Diese Anhängewagen werden zweckmässig ebenfalls mit symmetrischer Bauart versehen, damit ein Rangieren erleichtert wird. Da die Fahrgeschwindigkeit eine grössere ist, als bei Pferdebetrieb, ist Abfederung des Wagens und gute Bremsung erforderlich.

Da das gleislose System sich noch in seiner Entwickelung befindet, sei mit den hier gemachten Angaben das bisher Wichtigste registriert.

Druck von Oskar Leiner in Leipzig. 33610

Namen- und Sachregister.

(Die Zahlen beziehen sich auf die Seiten.)

Loose, Ingen. **Fritz**, und Ingen. **Max Schiemann, Taschenbuch** für Monteure elektrischer Strassenbahnen. Eine Anleitung zum Bau und zur Unterhaltung elektrischer Strassenbahnen mit Oberleitungs- und Akkumulatorenbetrieb. kl. 8°. 131 Seit. Mit 112 Abbildungen, Millimeterpapier. Geb. ℳ 3.75.

Lux, Ing. Dr. **H. Die wirtschaftliche Bedeutung der Gas- und** Elektrizitätswerke in Deutschland. Eine volkswirtschaftlich-technische Untersuchung. gr. 8°. 131 Seiten. Mit 9 Figuren. Brosch. ℳ 3.—, geb. ℳ 4.—.

Luxenberg, Dr. **M. Die Bogenlichtschaltungen und Bogenlicht-**Gattungen. Zweite vermehrte Aufl. gr. 8°. 51 Seiten mit 4 Figuren-Tafeln. Brosch. ℳ 2.50.

Maresch, Ingenieur **Cornel. Kraftmaschinen zum Betriebe dynamo-**elektrischer Stromerzeuger. Ein Lehr- und Nachschlagebuch für Elektrotechniker, Elektromonteure, Industrielle u. s. w. gr. 8°. 236 Seit. Mit 261 Abbild. Brosch. ℳ 4.25, geb. ℳ 5.25.

Neureiter, Ingen. **Ferd. Die Verteilung der elektrischen Energie** in Beleuchtungsanlagen. gr. 8°. 257 Seiten. Mit 94 Figuren. Brosch. ℳ 6.—. In Halbfranzband geb. ℳ 7.50.

Pauls Tabellen der Elektrotechnik. Zum praktischen Gebrauch für Techniker, Werkmeister, Monteure, Werkstattarbeiter. Maschinisten. 2. Aufl., bearbeitet v. Ingenieur Gust. Wilh. Meyer. kl. Quer-Format. 73 Seiten. ℳ 1.40.

Peschel, Ing. **A. Hilfsbuch für die Montage elektrischer Leitungen** zu Beleuchtungszwecken. Für Elektrotechniker, Monteure und Installateure zur praktischen Anlage und Behandlung des Leitungsmaterials. gr. 8°. VI und 234 Seiten. Mit 322 Abbildungen. Brosch. ℳ 5.—, geb. ℳ 6.—.

Praktische Anleitung zur Anlage von Blitzableitern. Mit 26 Abbildungen. Vierte Auflage. 8°. 44 Seiten. Brosch. ℳ —.60.

Prasch, Adolf, u. **Hugo Wietz. Die elektrotechnischen Maasse.** Lehrbuch zum Selbststudium. Dargestellt und durch zahlreiche Beispiele und 38 in den Text gedruckte Figuren erläutert. gr. 8°. 153 Seiten. Brosch. ℳ 3.—, geb. ℳ 3,50.

Riedel, Elektro-Ing. **K. Die Wechselstrom-Maschinen und die Dreh-**strom-Maschinen. Für Elektrotechniker, Monteure, Mechaniker, Schlosser etc. und zum Selbststudium in leicht verständlicher Darstellung. gr. 8°. 114 Seiten. Mit 120 Fig. und 12 Tafeln. Brosch. ℳ 3.50, geb. ℳ 4.50.

Rodet, Prof. **J. Berechnung der Leitungen für Mehrphasenströme.** Autorisierte deutsche Übersetzung von Ing. M. Lachmann. gr. 8°. 55 Seiten. Mit 22 Fig. Brosch. ℳ 2.75.

Rohrbeck, Ing. **E. Die Berechnung elektrischer Leitungen, ins-**besondere der Gleichstrom-Verteilungsnetze. 8°. 76 Seiten. Mit 24 Abbild. und 3 Tafeln in zwei Farben. Brosch. ℳ 2.50.

Rosemeyer, Elektrot. **Josef. Dauerbrand-Bogenlampen. Eine** leichtfassliche Betrachtung über Bogenlampen im allgemeinen und Dauerbrandlampen im besonderen, sowie deren Verhältnisse zueinander. 8° 78 Seiten mit 41 Abbildungen. ℳ 2.—.

Rosenberg, E., Obering. **Elektrische Starkstromtechnik. Eine** leichtfassliche Darstellung als Lehrbuch für Monteure, Techniker, Installateure, Schlosser und die Hilfsarbeiter in der Elektrotechnik, sowie für Laien. gr. 8°. 296 Seiten mit 284 Abbild. Brosch. ℳ 7.—, geb. ℳ 8.—

Rühlmann, Prof. Dr. **Richard. Grundzüge der Gleichstrom-Technik.** Eine gemeinfassliche Darstellung der Grundlagen der Starkstrom-Elektrotechnik des Gleichstromes für Ingenieure etc. 2. verm. Auflage. gr. 8°. 626 Seiten. Mit 400 Abbild. Brosch. ℳ 14.—, geb. ℳ 15.50.

Rühlmann, Prof. Dr. **Richard. Grundzüge der Wechselstrom-Technik.** Eine gemeinfassliche Darstellung der Grundlagen der Elektrotechnik der Wechsel- und Mehrphasenströme. Zugleich Ergänzungsband zu: Grundzüge der Elektrotechnik der Gleichstromtechnik. gr. 8°. 359 Seiten. Mit 261 Abbild. u. 1 Taf. Brosch. ℳ 11.50, geb. ℳ 13.—

Sack, J., Telegr.-Direktor. **Elektrotechnisches Wörterbuch. Englisch-Deutsch; Französisch-Deutsch; Deutsch-Englisch-Französisch.** Mit Zusätzen versehen von Ing. Arthur Wilke. gr. 8°. 123 Seiten. Brosch. ℳ 4.50, geb. ℳ 5.—.

Saur, K. Volt-Ampère-Watt-Pferdestärken. Dreizehn graphische Tafeln über die in der Praxis zumeist vorkommenden Werte und Wirkungsgrade. kl. Quer-Format. Mit 7 Bogen erläuterndem Text. geb. ℳ 2.75.

Schiemann, Ingen. **Max. Bau und Betrieb elektrischer Bahnen.** Handbuch zu deren Projektierung, Bau und Betriebsführung. I. Bd.: **Strassenbahnen.** Dritte vermehrte Auflage. gr. 8°. 696 S. Mit 521 Abbildungen, 1 photolithographischen Tafel und 3 Tafeln Diagramme. Brosch. ℳ 12.50, geb. ℳ 14.—.
II. Bd.: **Haupt-, Neben-, Industrie-, Fernschnell- und gleislose Bahnen.** Zweite vermehrte Auflage gr. 8°. 462 S. Mit 243 Abbildungen u. 31 Tafeln. Brosch. ℳ 12.50, geb. ℳ 14.—.

Schiemann, Ingen. **Max. Die elektrischen Autbahnen. Gleislose** Motorbahnen mit elektrischer Stromzuführung. Ein neues Verkehrsmittel, ein neuer Industriezweig, eine neue Kapitalanlage. gr. 8°. 35 Seiten mit 25 Abbild. ℳ —.75

Schiemann, Ingen. **Max. Elektrische Fernschnellbahnen der Zukunft.** Populäre volkswirtschaftliche Eisenbahnskizze. gr. 8°. 55 Seiten. Mit 6 Holzschn. u. 1 lithograph. Tafel. Brosch. ℳ 1.50.

Schmidt-Ulm, Ingen. **Georg. Die Wirkungsweise, Berechnung** und Konstruktion der Gleichstrom-Dynamomaschinen und Motoren. Praktisches Handbuch für Elektrotechniker, Konstrukteure und Studierende an technischen Mittel- und Hochschulen. 2. vermehrte Auflage. 17 Bog. 8°. Mit 204 Abbild.. 41 Tafeln Konstruktionsskizzen und 1 Diagrammtafel. Brosch. ℳ 8.50, geb. ℳ 9.60.

Weil, Julius. Die Entstehung und Entwicklung unserer elektrischen Strassenbahnen. In gemeinfasslicher Darstellung. gr. 8°. 92 Seiten mit 67 Abbildungen. Brosch. ℳ 3.—

Weil, Dr. **Th. Neuere Bogenlampen, deren Mechanismen und Anwendungsgebiete.** Leitfaden durch das Gebiet der modernen Bogenlampentechnik in gemeinfasslicher Darstellung. gr. 8°. 91 Seiten. Mit 120 Abbild. Brosch. ℳ 3.50.

Wietz, Hugo. Die isolierten Leitungsdrähte und Kabel. Ihre Erzeugung, Verlegung und Unterhaltung. gr. 8°. 236 Seiten. Mit 159 Abbildungen. Brosch. ℳ 7.—, geb. ℳ 8.20.

Wilke, Ingen. **Arthur. Über die gegenseitigen Beeinflussungen der** Fernsprechleitungen nach Müller's Theorie. gr. 8°. 69 Seiten. Mit 39 Abbildungen. Brosch. ℳ 1.—.

Wilke, Ingen. **Arthur. Der elektrotechnische Beruf. Eine kurzgefasste** Darstellung des Bildungsganges und der Aussichten des Elektrotechnikers, des Elektrochemikers und der elektrotechnischen Gewerbetreibenden. Dritte vermehrte Auflage. gr. 8°. 127 Seiten. Brosch. ℳ 2.—; geb. ℳ 2.60.

54993